

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-088049

(43)Date of publication of application : 18.03.2004

(51)Int.Cl.

H01S 5/028

(21)Application number : 2002-364244

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 16.12.2002

(72)Inventor : SHIGIHARA KIMIO
KAWASAKI KAZUE

(30)Priority

Priority number : 2002063891 Priority date : 08.03.2002 Priority country : JP
2002185105 25.06.2002

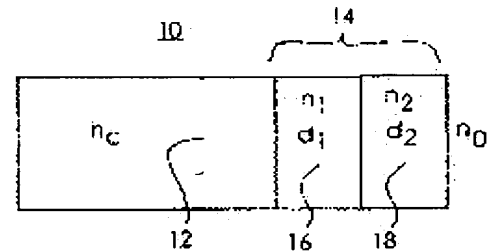
JP

(54) OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical semiconductor device having a low-reflection coat film which is a highly flexible in design.

SOLUTION: In this optical semiconductor device, a low-reflection coating film 14, which comprises a first layer coating film 16 having a refractive index of n_1 and a film thickness of d_1 and a second layer coating film 18 having a refractive index of n_2 and a film thickness of d_2 , is disposed on one of the end faces of a semiconductor laser element 12 having an equivalent refractive index of n_c . The low-reflection coat film 14 is so formed that, when the refractive index of a free space on the surface of the second layer coat film 18 is n_0 and the wavelength of a beam from the semiconductor laser element 12 is λ_0 , the real part and the imaginary part of the amplitude reflectance defined by the wavelength λ_0 , the refractive indexes n_1 and n_2 , and the film thicknesses d_1 and d_2 are all zero and that only one of the refractive indexes n_1 and n_2 is smaller than the square root of a product of the refractive indexes n_c and n_0 .



BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-88049

(P2004-88049A)

(43) 公開日 平成16年3月18日(2004.3.18)

(51) Int.Cl.⁷

H01S 5/028

F1

H01S 5/028

テーマコード(参考)

5F073

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 48 頁)

(21) 出願番号 特願2002-364244 (P2002-364244)
 (22) 出願日 平成14年12月16日(2002.12.16)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-63891 (P2002-63891)
 (32) 優先日 平成14年3月8日(2002.3.8)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-185105 (P2002-185105)
 (32) 優先日 平成14年6月25日(2002.6.25)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
 (74) 代理人 100082175
 弁理士 高田 守
 (74) 代理人 100066991
 弁理士 葛野 信一
 (74) 代理人 100106150
 弁理士 高橋 英樹
 (72) 発明者 嶋原 君男
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
 菱電機株式会社内
 (72) 発明者 川崎 和重
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
 菱電機株式会社内

最終頁に続く

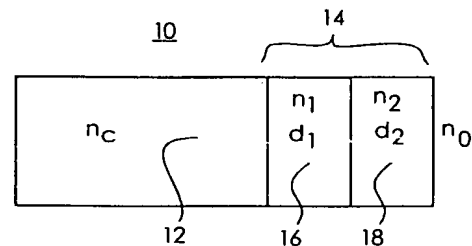
(54) 【発明の名称】 光半導体装置

(57) 【要約】

【課題】設計の自由度の高い低反射率の被覆膜を備えた光半導体装置を構成する。

【解決手段】この発明に係る光半導体装置は、等価屈折率 n_c を有する半導体レーザ12の一方の端面に、屈折率が n_1 で膜厚が d_1 である第1層コーティング膜16と屈折率が n_2 で膜厚が d_2 の第2層コーティング膜18とを有する低反射コーティング膜14が配設され、この低反射コーティング膜14は第2層コーティング膜18の表面上の自由空間の屈折率を n_0 としたときに、半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 に対して、この波長 λ_0 、屈折率 n_1 、 n_2 、膜厚 d_1 、 d_2 により規定される振幅反射率の実部及び虚部がゼロとなるとともに n_1 、 n_2 のいずれか一方のみが n_c と n_0 との積の平方根より小さくなるようにされたものである。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光を入射または出射する端面を有し、等価屈折率 n_c を有する光半導体素子と、この光半導体素子の端面上に配設され、屈折率が n_1 で係数 a_0 を正の実数としたときに、膜厚が $a_0 \times d_1$ である第 1 の被覆膜とこの第 1 の被覆膜上に配設された屈折率が n_2 で膜厚が $a_0 \times d_2$ の第 2 の被覆膜とを有する被覆膜層と、を備え、上記被覆膜層の表面上の自由空間の屈折率を n_0 としたときに、上記光半導体素子を伝播する光の波長 λ_0 に対して、この波長 λ_0 、上記屈折率 n_1 、 n_2 、上記膜厚 $a_0 \times d_1$ 、 $a_0 \times d_2$ により規定される振幅反射率の実部及び虚部がゼロとなるとともに上記 n_1 、 n_2 のいずれか一方のみが上記 n_c と n_0 との積の平方根より小さいことを特徴とした光半導体装置。

10

【請求項 2】

被覆膜層は、第 2 の被覆膜の表面上に順次配設され屈折率が n_1 で係数 a_k ($k = 1, 2, \dots, m$) を正の実数としたときに膜厚が $a_k \times d_1$ である第 3 の被覆膜とこの第 3 の被覆膜上に配設された屈折率が n_2 で膜厚が $a_k \times d_2$ の第 4 の被覆膜とを有する被覆膜対を、 $k = 1, 2, \dots, m$ と変化させてさらに m 対有するとともに、 $a_k \times d_1$ 、 $a_k \times d_2$ を含めて振幅反射率を規定することを特徴とした請求項 1 記載の光半導体装置。

【請求項 3】

被覆膜層が最上層の被覆膜対の第 4 の被覆膜上に、屈折率が n_1 で係数 b_1 を正の実数としたときに厚みが $b_1 \times d_1$ の第 5 の被覆膜を、さらに有したことを特徴とする請求項 2 記載の光半導体装置。

20

【請求項 4】

光半導体素子を半導体レーザとし、この半導体レーザの出射前端面において被覆膜層が配設されるとともに、この半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 の長波長側と短波長側の両側において、半導体レーザの総損失と半導体レーザの利得とが等しくなることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光半導体装置。

【請求項 5】

光半導体素子を半導体レーザとし、この半導体レーザの共振器長 L が $L \leq 1500 \mu m$ で、半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 近傍における波長領域であって上記被覆膜層の反射率が 1 % 以下となる波長領域幅が 55 nm 以下であることを特徴とする請求項 4 記載の光半導体装置。

30

【請求項 6】

光半導体素子を半導体レーザとし、この半導体レーザの出射前端面において被覆膜層が配設されるとともに、この半導体レーザにおいて波長 λ_0 の短波長側、長波長側のいずれか一方において半導体レーザの総損失と半導体レーザの利得とが等しくなり、他方の短波長側または長波長側において半導体レーザの総損失が半導体レーザの利得よりも大きくなることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光半導体装置。

【請求項 7】

被覆膜層のそれぞれの被覆膜の屈折率と膜厚との積の総和が波長 λ_0 の $1/4$ を越えかつ半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 近傍における波長領域であって上記被覆膜層の反射率が 1 % 以下となる波長領域幅が 55 nm 以上であることを特徴とする請求項 6 記載の光半導体装置。

40

【請求項 8】

光半導体素子を半導体レーザとし、この半導体レーザの出射前端面において被覆膜層が配設されるとともに、波長 λ_0 よりも半導体レーザの発振波長が短いことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光半導体装置。

【請求項 9】

光半導体素子を半導体レーザとし、この半導体レーザの出射前端面において被覆膜層が配

50

設され、さらに上記半導体レーザの出射前端面に対向してファイバグレーティングが配設されるとともに、半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 近傍における波長領域であって上記被覆膜層の反射率が1%以下となる波長領域幅が55nm以上であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光半導体装置。

【請求項10】

光半導体素子を半導体レーザとし、この半導体レーザの出射前端面において被覆膜層が配設され、さらに上記半導体レーザの出射前端面に対向してファイバグレーティングが配設されるとともに、上記ファイバグレーティングの反射波長が半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 よりも長い場合は上記被覆膜層の反射率が、波長 λ_0 の短波長側よりも長波長側で緩やかに上昇し、上記ファイバグレーティングの反射波長が半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 よりも短い場合は上記被覆膜層の反射率が、波長 λ_0 の長波長側よりも短波長側で緩やかに下降することを特徴とした請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光半導体装置。

10

【請求項11】

半導体レーザを有し、この半導体レーザの端面に低反射被覆膜を有し、この低反射被覆膜の反射率が所定の波長 λ_0 に対応して極小値を有し、この低反射被覆膜の屈折率と膜厚との積の和が半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 の $1/4$ を越え、かつ半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 近傍における波長領域であって上記低反射被覆膜の反射率が1%以下となる波長領域幅が55nm以上であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項12】

半導体レーザを有し、この半導体レーザの共振器端面の一方の反射率が所定の波長 λ_0 に対応して極小値を有し、波長が長くなるにつれて反射率が低くなる領域において、上記半導体レーザの総損失と半導体レーザの利得とが等しくなることを特徴とする光半導体装置。

20

【請求項13】

被覆膜層が光半導体素子の端面と第1の被覆膜との間に、屈折率が n_2 で係数 c_1 を正の実数としたときに膜厚が $c_1 \times d_2$ の第6の被覆膜を、さらに有したことを特徴とする請求項2記載の光半導体装置。

【請求項14】

光半導体素子の端面に最も近接する被覆膜の屈折率が、この被覆膜の上層に隣接する被覆膜の屈折率よりも小さいことを特徴とした請求項1ないし3及び13のいずれか1項に記載の光半導体装置。

30

【請求項15】

光半導体素子の端面に最も近接して配設された被覆膜をアルミナにより、またこのアルミナの被覆膜に隣接して配設された被覆膜を酸化タンタルによりそれぞれ構成したことを特徴とする請求項14記載の光半導体装置。

【請求項16】

被覆膜層におけるそれぞれの被覆膜の屈折率と膜厚との積の総和が波長 λ_0 の $1/4$ を越え、かつ光半導体素子を伝播する光の波長 λ_0 近傍における波長領域であって上記被覆膜層の反射率が1%以下となる波長領域幅が100nm以上であることを特徴とする請求項3及び請求項13ないし15のいずれか1項に記載の光半導体装置。

40

【請求項17】

光半導体素子を半導体レーザとし、この半導体レーザの出射前端面において被覆膜層が配設されるとともに、さらに上記半導体レーザの出射前端面に対向してファイバグレーティングが配設されたことを特徴とする請求項16記載の光半導体装置。

【請求項18】

光半導体素子を半導体レーザとし、この半導体レーザの出射前端面において被覆膜層が配設されるとともに、上記被覆膜層の反射率が極小となる波長が、上記被覆膜層の反射率が1%以下となる波長領域幅の中心となる波長より短波長側にあり、かつ上記半導体レーザの利得が最大になる波長が上記被覆膜層の反射率が極小となる波長よりも短波長側にある

50

ことを特徴とする請求項 3 及び請求項 13 ないし 15 のいずれか 1 項に記載の光半導体装置。

【請求項 19】

被覆膜層の反射率が 4 % 以下で、且つ波長変化に対するミラー損失の変化が $0.13 \text{ cm}^{-1} / \text{nm}$ 以上であることを特徴とする請求項 18 に記載の光半導体装置。

【請求項 20】

半導体レーザの出射前端面において被覆膜層が配設されるとともに、上記被覆膜層の反射率が 4 % 以下で、且つ波長変化に対するミラー損失の変化が $0.13 \text{ cm}^{-1} / \text{nm}$ 以上であることを特徴とする請求項 12 に記載の光半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は光情報処理用の光源、光通信の信号源、ファイバアンプの励起光源として用いられる半導体レーザ装置、半導体光増幅器 (SOA、semiconductor optical amplifier)、スーパーluminescent diode (SLD、superluminescent diode)、光変調器などの光半導体装置に係り、特にこれらに用いられる光半導体素子の端面にコーティング膜を具備した光半導体装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

以下の説明では光半導体装置のうち、半導体レーザ装置について説明する。

図 53 は従来の半導体レーザの波長の出力依存性を示す模式図である。

図 53 の出力依存性をしめす半導体レーザは、その前端面は SiO_2 膜、後端面は SiO_2 膜 / アモルファスシリコン (以下、a-Si と表記する) 多層膜がそれぞれコーティングされ、前端面の反射率は 6 %、後端面の反射率は 94 % となっている (例えば非特許文献 1 参照)。

【0003】

図 53 に示されるように、光出力 1 mW から 30 mW まで変化するに従い発振波長は 780 nm ~ 786 nm まで 6 nm 長くなる。この波長の変化は、単位出力当たりの波長変化に換算すると $0.21 \text{ nm} / \text{mW}$ となり、スロープ効率が $1 \text{ mW} / \text{mA}$ とすると、 $0.21 \text{ nm} / \text{mA}$ となる。

この波長変化は、注入電流増加による活性層の温度上昇が引き起こすものであり、温度に換算した場合、AlGaAs 系半導体レーザでは約 $0.2 \sim 0.3 \text{ nm} / ^\circ\text{C}$ 、InGaAsP 系半導体レーザで約 $0.4 \sim 0.7 \text{ nm} / ^\circ\text{C}$ と言われている (例えば、非特許文献 2 参照)。

【0004】

また図 53 から分かるように、光出力を変化させても、発振波長は 780 nm 近傍の値を示し、光出力つまり注入電流を変えても、約 $0.21 \text{ nm} / \text{mA}$ 程度で連続的に変化するのみであった。

さらに、半導体レーザの前端面には、波長 λ にたいして厚さが $\lambda / 4$ の SiO_2 膜を設けたのみなので、端面の反射率は 6 % 程度で、1 % 以下の低反射率ではない。

【0005】

また、端面に設ける無反射コーティング膜を 2 層以上の誘電体薄膜で構成し、第 1 層はパッシベーション機能を果たす膜で、第 2 層以上は $\lambda / 4$ の無反射コーティング膜で構成する例が開示されている (例えば、特許文献 1 参照)。

また、従来の半導体レーザの無反射膜の構成を示す記載がある。(例えば特許文献 2、非特許文献 3 参照)

【0006】

【特許文献 1】

特開平 3-293791 号公報

10

20

30

40

【特許文献2】

特許第3014208号公報

【非特許文献1】

T. Ohtoshi et. Al., "High-power visible GaAlAs lasers with self-aligned strip buried heterostructure", J. Appl. Phys., Vol. 56, No. 9, pp. 2491-2496, 1984

【非特許文献2】

参照米津宏雄著、「光通信素子工学」、工学図書、2版、p. 244-255

【非特許文献3】

IEEE Electronics Lett. Vol. 31, No. 31, p. 1574-1575

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

このような構成の従来の半導体レーザでは、低反射率の端面コーティング膜は高々反射率が6%程度になる。

あるいはコーティング膜のトータル膜厚が所望の波長 λ_0 の $1/4$ 以下である場合には、1%以下の低反射率のとなる波長 λ_0 近傍の波長領域幅が100nmを超えるようにすることが出来るが、トータル膜厚が薄いために放熱が悪く端面劣化の原因になる場合があった。

また所望の波長 λ_0 で無反射になるコーティング膜を形成し、放熱をよくするために所望の波長 λ_0 の $1/4$ 以上の厚さにすると、波長に対する反射率依存性が急峻になるなどの問題があった。

【0008】

図54は従来の半導体レーザの無反射膜の構成を示す模式図である（例えば特許文献2、非特許文献3）。

図54において、200は従来の半導体レーザで、202は実効屈折率が n_p の半導体レーザ素子、204は屈折率が n_{01} 、膜厚が d_{01} の第1層膜で半導体レーザ202の端面に形成されている。206は屈折率が n_{02} 、膜厚が d_{02} の第2層膜で、第1層膜204の表面に形成されている。208は屈折率が n_{03} 、膜厚が d_{03} の第3層膜で、第2層膜206の表面に形成されている。 n_0 は第3層膜208の表面が接している外界の屈折率である。

【0009】

図55は、従来の無反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。図55において、曲線a、及び曲線bは、半導体レーザ素子202の実効屈折率が $n_c = 3.2$ で、波長 $\lambda_0 = 1.3 \mu m$ 近傍における無反射膜の反射率の波長依存性を示している。

曲線aは第1層膜204及び第3層膜208がAl₂O₃により構成されその屈折率が $n_{01} = n_{03} = 1.6$ 、第2層膜206がアモルファスシリコン(a-Si)で形成されその屈折率が 3.2 となり、それぞれの膜厚が $d_{01} = d_{03} = 90.23 nm$ 、 $d_{02} = 8.25 nm$ とした場合の反射率である。

【0010】

曲線bは第1層膜204及び第3層膜208がAl₂O₃により構成されその屈折率が $n_{01} = n_{03} = 1.6$ 、第2層膜206がアモルファスシリコン(a-Si)で形成されその屈折率が $n_{02} = 3.2$ となり、それぞれの膜厚が $d_{01} = d_{03} = 90.23 nm$ 、 $d_{02} = 199.43 nm$ とした場合の反射率である。

半導体レーザ202の実効屈折率が $n_c = 3.2$ とすると、 $n_f = (n_c \times n_0)^{1/2} = 1.78885$ である。波長 $\lambda_0 = 1.3 \mu m$ とした場合、 $\lambda_0/4$ は約325nmとなる。

曲線aの場合の3層膜のトータル膜厚($n_{01} \cdot d_{01} + n_{02} \cdot d_{02} + n_{03} \cdot d_{03}$)が314.5nmとなり、 $\lambda_0/4$ とほぼ等しくなる。曲線aの場合、反射率が1%

10

20

30

40

50

以下の低反射率の範囲が265nmと広がるが、厚さが必ずしも十分厚くとれないので放熱が悪く半導体レーザー素子202の端面劣化の原因になる場合がある。

また曲線bでは、熱伝導をよくするためにトータル膜厚が約927nmと厚くすることができるが、反射率が1%以下の低反射率の範囲が55nmと極端に狭くなる。

【0011】

また、従来から、理想的単層膜の置き換えとして2層膜または3層膜による無反射膜を構成し、膜厚を厚くする方法はあった。

例えば特許第3014208号の3層膜による無反射コーティング膜があり、この3層膜による無反射コーティング膜は、各コーティング膜の屈折率をそれぞれ n_01 、 n_02 、 n_03 、各コーティング膜の膜厚をそれぞれ、 d_01 、 d_02 、 d_03 、としたときに、
トータル膜厚($n_01 \cdot d_01 + n_02 \cdot d_02 + n_03 \cdot d_03$)を所望の波長 λ_0 の1/4の整数倍に構成すれば、特性行列が理想的単層膜と等しくなるというものである。
また2層膜において、1層目の膜厚 $n_01 \cdot d_01$ 、1層目の膜厚 $n_02 \cdot d_02$ をそれぞれ所望の波長 λ_0 の1/4とし、これを2層重ねると言う方法もある。

しかし、($n_01 \cdot d_01 + n_02 \cdot d_02 + n_03 \cdot d_03$)を所望の波長 λ_0 の1/4の整数倍に構成することや、1層目の膜厚 $n_01 \cdot d_01$ 、1層目の膜厚 $n_02 \cdot d_02$ をそれぞれ所望の波長 λ_0 の1/4にすることに、材料的選択の自由度が少なく、設計が困難になる場合があった。

【0012】

この発明は上記の問題点を解消するためになされたもので、第1の目的は、光半導体素子を伝播する光の波長に対して設計の自由度の高い低反射率の被覆膜を備えた光半導体装置を構成することであり、第2の目的はトータル膜厚が所望の波長 λ_0 の1/4を越えた被覆膜を備えた波長の安定性の高い光半導体装置を構成することであり、第3の目的は温度に対する波長変化の少ない光半導体装置を構成することである。また第4の目的はトータル膜厚が所望の波長 λ_0 の1/4を越え、光半導体素子の端面における熱劣化の少ない被覆膜を備えた光半導体装置を構成することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】

この発明に係る光半導体装置は、光を入射または出射する端面を有し、等価屈折率 n_c を有する光半導体素子と、この光半導体素子の端面上に配設され、屈折率が n_1 で係数 a_0 を正の実数としたときに、膜厚が $a_0 \times d_1$ である第1の被覆膜とこの第1の被覆膜上に配設された屈折率が n_2 で膜厚が $a_0 \times d_2$ の第2の被覆膜とを有する被覆膜層と、を備え、被覆膜層の表面上の自由空間の屈折率を n_0 としたときに、光半導体素子を伝播する光の波長 λ_0 に対して、この波長 λ_0 、屈折率 n_1 、 n_2 、膜厚 $a_0 \times d_1$ 、 $a_0 \times d_2$ により規定される振幅反射率の実部及び虚部がゼロとなるとともに n_1 、 n_2 のいずれか一方のみが n_c と n_0 との積の平方根より小さいもので、この構成により、波長 λ_0 に対して理想的単層膜の置き換えとは異なる低反射被覆膜層とすることができる。

【0014】

(また、この発明に係る光半導体装置は、半導体レーザーを有し、この半導体レーザーの端面に低反射被覆膜を有し、この低反射被覆膜の反射率が所定の波長 λ_0 に対応して極小値を有し、この低反射被覆膜の屈折率と膜厚との積の和が半導体レーザーの所定のレーザー光の波長 λ_0 の1/4を越え、かつ半導体レーザーの所定のレーザー光の波長 λ_0 近傍における波長領域であって低反射被覆膜の反射率が1%以下となる波長領域幅を55nm以上としたもので、放熱性がよく、周囲温度や注入電流を変えても発振波長変化の少ない半導体レーザーを備えた光半導体装置を構成することができる。)

【0015】

(また、この発明に係る光半導体装置は、半導体レーザーを有し、この半導体レーザーの共振器端面の一方の反射率が所定の波長 λ_0 に対応して極小値を有し、波長が長くなるにつれて反射率が低くなる領域において、半導体レーザーの総損失と半導体レーザーの利得とを等しくしたもので、周囲温度や注入電流を変えても発振波長変化の少ない半導体レーザーを構成

10

20

30

40

50

することができる。)

【0016】

【発明の実施の形態】

以下の実施の形態においては、光半導体装置として、例えば光半導体素子として半導体レーザ素子を用いた半導体レーザ装置を例に挙げて説明する。

実施の形態1.

図1は、この発明の一つの実施の形態に係る半導体レーザの模式図である。

図1において、10はこの実施の形態に係る半導体レーザで、12は等価屈折率 n_c を有する光半導体素子としての半導体レーザ素子、14はこの半導体レーザ素子12の表面に配設された被覆膜層としての低反射コーティング膜で、一方の界面は半導体レーザ素子12の、例えば前端面に密着して、他方の境界は空気層、窒素層あるいは真空層などの屈折率 n_0 が、 $n_0 = 1$ である自由空間に接している。

10

【0017】

16は低反射コーティング膜14を構成する第1の被覆膜としての第1層コーティング膜で、屈折率が n_1 の材料により配設され膜厚が d_1 である。膜厚は一般化して記載すると $a_0 \times d_1$ であるが、この実施の形態では $a_0 = 1$ としている。18は低反射コーティング膜14を構成する第2の被覆膜としての第2層コーティング膜で、この実施の形態では一方の境界は第1層コーティング膜16に密着して配設され、他方の境界は自由空間に接している。第2層コーティング膜18は屈折率が n_2 の材料により配設され、膜厚が d_2 である。膜厚は一般化して記載すると $a_0 \times d_2$ であるが、この実施の形態では $a_0 = 1$

20

【0018】

つぎに低反射コーティング膜14について説明する。

今、半導体レーザから出射される光のうち所望の波長を λ とし、第1層コーティング膜16及び第2層コーティング膜18における位相変化をそれぞれ ϕ_1 、 ϕ_2 とすると、 ϕ_1 、 ϕ_2 は次式ようになる。

$$\phi_1 = (2\pi \cdot n_1 \cdot d_1) / \lambda \quad (1)$$

$$\phi_2 = (2\pi \cdot n_2 \cdot d_2) / \lambda \quad (2)$$

このとき振幅反射率 r は次式で表される。

$$r = (A - iB) / (C - iD) \quad (3)$$

30

【0019】

ここで、

$$A = (n_c - 1) \cos \phi_1 \cos \phi_2 + \{ (n_1 / n_2) - (n_2 \cdot n_c) / n_1 \} \sin \phi_1 \sin \phi_2 \quad (4)$$

$$B = (n_c / n_2) - n_2 \cos \phi_1 \sin \phi_2 + (n_c / n_1) - n_1 \sin \phi_1 \cos \phi_2 \quad (5)$$

$$C = (n_c + 1) \cos \phi_1 \cos \phi_2 - \{ (n_1 / n_2) + (n_2 \cdot n_c) / n_1 \} \sin \phi_1 \sin \phi_2 \quad (6)$$

$$D = (n_c / n_2) + n_2 \cos \phi_1 \sin \phi_2 + (n_c / n_1) + n_1 \sin \phi_1 \cos \phi_2 \quad (7)$$

40

である。また i は虚数単位である。

【0020】

そして、電力反射率 R は $|r|^2$ で表される。

このとき次の(7)式及び(8)式を満たす場合に電力反射率 R はゼロとなる。

すなわち、

$$n_c - 1 + \{ (n_1 / n_2) - (n_2 n_c) / n_1 \} \tan \phi_1 \tan \phi_2 = 0 \quad (8)$$

)

$$(n_c / n_1) - n_1 \tan \phi_1 + (n_c / n_2) - n_2 \tan \phi_2 = 0 \quad (9)$$

である。

50

さらに、 n_1 と n_2 のいずれか一方が $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より小さく、他方が $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より大きいことである。いまは $n_0 = 1$ であるので、 n_1 と n_2 の値の間に $(n_c)^{1/2}$ があるということになる。

【0021】

実施例1

半導体レーザの等価屈折率 $n_c = 3.37$ 、第1層コーティング膜16をTa₂O₅で形成するとその屈折率は $n_1 = 2.057$ 、第2層コーティング膜18をAl₂O₃で形成するとその屈折率は $n_2 = 1.62$ となり、想定するレーザ光の波長 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ とすると、第1層コーティング膜16の膜厚 d_1 が、 $d_1 = 71.34 \text{ nm}$ で、第2層コーティング膜18の膜厚 d_2 が、 $d_2 = 86.20 \text{ nm}$ の時に無反射となる。当然のことながらこれら膜厚の組み合わせに限らず、 ϕ_1 及び ϕ_2 が 2π の整数倍の時も無反射となる。これは以下の実施の形態の場合においても同様である、

【0022】

そして、無反射膜の構成は、トータル膜厚 $(n_1 d_1 + n_2 d_2)$ が $\lambda_0/4$ の整数倍ではなく、特性行列が理想的単層膜とは一致しない。このためコーティング膜の n_1 、 n_2 を選定した後に、 d_1 、 d_2 で調整できるために、コーティング膜の材料選定が容易になり、低反射膜の設計の自由度が大きくなるという利点がある。延いては所望の低反射被覆膜層を備えた光半導体装置を簡単に構成することができる。

なお、トータル膜厚とは、被覆膜を構成する各層の膜厚にその層の屈折率を乗じた値の総和である。

【0023】

実施の形態2.

図2は、この発明の一つの実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

図2において、図1と同じ符号は同一のものか相当のものである。以下の各図においても、同じ符号は同一のものか相当のものである。

この実施の形態に係る一つの半導体レーザ装置は、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_0 \times d_1$ としたコーティング膜と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_0 \times d_2$ としたコーティング膜の上に、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_1 \times d_1$ としたコーティング膜と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_1 \times d_2$ としたコーティング膜とを一对としたコーティング膜対を、さらに重ねて2段構成として、低反射コーティング膜14としたものである。

【0024】

図2において、20は半導体レーザ装置、22aは屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_0 \times d_1$ とした第1層コーティング膜、22bは屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_0 \times d_2$ とした第2層コーティング膜である。これら第1層コーティング膜22aと第2層コーティング膜22bとで基底コーティング膜対22を形成している。

24は基底コーティング膜対22の上に配設された第1コーティング膜対で、24aは第3の被覆膜としての第3層コーティング膜で、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_1 \times d_1$ としたものである。24bは第4の被覆膜としての第4層コーティング膜で屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_1 \times d_2$ としたものである。

低反射コーティング膜14は基底コーティング膜対22とこの上に配設された第1コーティング膜対24とで構成されている。

ここで a_0 、および a_1 はパラメータで正の実数である。

【0025】

無反射条件の導出は実施の形態1の場合と同様で、実施の形態2の低反射コーティング膜14が配設された端面の振幅反射率 r の実部と虚部とがゼロになるように膜厚 d_1 、 d_2 を定める。

すなわち、(10)式の振幅反射率 r の実部と虚部とがゼロになるように膜厚 d_1 、 d_2 を定める。

$$r = \frac{\{ (m_{11} + m_{12}) n_c - (m_{21} + m_{22}) \}}{\{ (m_{11} + m_{12}) n_c + (m_{21} + m_{22}) \}} \quad (10)$$

10

20

30

40

50

但し、

【0026】

【数1】

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos a_0 \phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin a_0 \phi_1 \\ -i n_1 \sin a_0 \phi_1 & \cos a_0 \phi_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos a_0 \phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin a_0 \phi_2 \\ -i n_2 \sin a_0 \phi_2 & \cos a_0 \phi_2 \end{bmatrix} \\ \times \begin{bmatrix} \cos a_1 \phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin a_1 \phi_1 \\ -i n_1 \sin a_1 \phi_1 & \cos a_1 \phi_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos a_1 \phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin a_1 \phi_2 \\ -i n_2 \sin a_1 \phi_2 & \cos a_1 \phi_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

10

【0027】

である。

また、実施の形態1と同様に、 n_1 と n_2 のいずれか一方が、 $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より小さく、他方が $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より大きいとする。いまは $n_0 = 1$ であるので、 n_1 と n_2 の値の間に $(n_c)^{1/2}$ が存在するように設定する。

【0028】

実施例2

半導体レーザの等価屈折率 $n_c = 3.37$ 、第1層コーティング膜22a及び第3層コーティング膜24aをAl₂O₃で形成するとその屈折率は $n_1 = 1.62$ 、第2層コーティング膜22b及び第4層コーティング膜24bをTa₂O₅で形成するとその屈折率は $n_2 = 2.057$ となり、想定するレーザ光の波長 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ とし、 $a_0 = 1.2$ 、 $a_1 = 0.8$ とすると、 $d_1 = 319.91 \text{ nm}$ 、 $d_2 = 33.40 \text{ nm}$ の時に無反射になる。

20

図3はこの発明に係る一実施例である実施例2の反射率の計算結果を示すグラフである。

【0029】

このときレーザ光の波長 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ 近傍の反射率が1%以下になる波長領域幅は、図3に示されるように36 nmとなる。

次に半導体レーザ端面に配設された基底コーティング膜対の上にさらに2段のコーティング膜対を重ね、3段重ね構成の低反射コーティング膜としたものについて説明する。

30

【0030】

図4は、この発明の一つの実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

この半導体レーザ装置においては、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_0 \times d_1$ としたコーティング膜と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_0 \times d_2$ としたコーティング膜からなる基底コーティング膜対の上に、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_1 \times d_1$ としたコーティング膜と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_1 \times d_2$ としたコーティング膜とを一对とした第1コーティング膜対を形成し、この第1コーティング膜対の上に屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_2 \times d_1$ としたコーティング膜と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_2 \times d_2$ としたコーティング膜とを一对とした第2コーティング膜対をさらに重ねて形成し、コーティング膜対を3段とし低反射コーティング膜14としたものである。

40

【0031】

図4において、30は半導体レーザ装置、32は第1コーティング膜対24の上に形成された第2コーティング膜対で、32aは第3の被覆膜としての第5層コーティング膜で屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_2 \times d_1$ としたものである。32bは第4の被覆膜としての第6層コーティング膜で屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_2 \times d_2$ としたものである。

第2コーティング膜対32は第5層コーティング膜32aと第6層コーティング膜32bで構成される。この第6層コーティング膜32bの一方の界面は第5層コーティング膜32aに密着し、もう一方の界面は屈折率 n_0 、この実施の形態では、 $n_0 = 1$ の自由空間に接している。 a_2 はパラメータで正の実数である。

【0032】

50

無反射条件の導出は実施の形態1の場合と同様で、低反射コーティング膜14が配設された端面の振幅反射率 r の実部と虚部とがゼロになるように膜厚 d_1 、 d_2 を定める。

また、 n_1 と n_2 のいずれか一方が、 $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より小さく、他方が $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より大きいと設定する。いまは $n_0 = 1$ であるので、 n_1 と n_2 の値の間に $(n_c)^{1/2}$ が存在するように設定する。

【0033】

実施例3

半導体レーザの等価屈折率 $n_c = 3.37$ 、第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a及び第5層コーティング膜32aをA1203で形成するとその屈折率は $n_1 = 1.62$ 、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bをTa2O5で形成するとその屈折率は $n_2 = 2.057$ となり、
10
想定するレーザ光の波長 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ とし、 $a_0 = 1.2$ 、 $a_1 = 1.0$ 、 $a_2 = 0.8$ とすると、 $d_1 = 251.65\text{nm}$ 、 $d_2 = 303.73\text{nm}$ の時に無反射になる。
このときレーザ光の波長 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ 近傍の反射率が1%以下になる波長領域幅は、
20nmとなり、4層のコーティング膜で形成された低反射コーティング膜14の場合よりも反射率が1%以下になる波長領域幅が狭くなっている。

さらにこの3段重ねの低反射コーティング膜14を使用したもう一つの実施例について説明する。

【0034】

実施例4

半導体レーザの等価屈折率 $n_c = 3.37$ 、第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a及び第5層コーティング膜32aをA1203で形成するとその屈折率は $n_1 = 1.62$ 、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bをTa2O5で形成するとその屈折率は $n_2 = 2.057$ となり、
20
想定するレーザ光の波長 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ とし、 $a_0 = 1.2$ 、 $a_1 = 1.0$ 、 $a_2 = 0.8$ とすると、 $d_1 = 64.86\text{nm}$ 、 $d_2 = 61.60\text{nm}$ の時に無反射になる。

【0035】

このときレーザ光の波長 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ 近傍の反射率が1%以下になる波長領域幅は、
61nmとなり広いものとなる。

この実施例4は先の実施例3と同じ計算条件であるが実施例3と異なる位相変化の値 ϕ_1
30
、 ϕ_2 を選定したものである。

なお、この実施例4の第1層コーティング膜22aから第6層コーティング膜32bまでのトータル膜厚つまり各層コーティング膜の屈折率と膜厚との積の総和は695.35nmとなり、 $\lambda_0/4$ である245nmより大きくなっている。

次に屈折率 n_1 の材料で膜厚を d_1 としたコーティング膜と屈折率 n_2 の材料で膜厚を d_2 としたコーティング膜とを一对とし、パラメータ a_0 、 a_1 、及び a_2 により厚さを変えた3段重ねの低反射コーティング膜にさらに、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $b_1 d_1$ （パラメータ b_1 は正の実数）とした第5の被覆膜としての表面層コーティング膜を加えた低反射コーティング膜14を備えた半導体レーザ装置の実施例5について説明する。

この構成により、さらに被覆膜層が配設された端面における反射率の波長依存性の設定の
40
自由度を高めることができる。延いてはより広範な所望の反射率の波長依存性を有する低反射被覆膜層を備えた光半導体装置を簡単に構成することができる。

【0036】

実施例5

図5はこの発明の一つの実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。図5において、36は半導体レーザ装置、38は屈折率 n_1 の材料で膜厚を $b_1 d_1$ とした表面層コーティング膜である。

半導体レーザの等価屈折率 $n_c = 3.37$ 、第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、第5層コーティング膜32a及び表面層コーティング膜38をA1203で形成するとその屈折率は $n_1 = 1.62$ 、第2層コーティング膜22b、第4層コー

10

20

30

40

50

ティング膜 2 4 b 及び第 6 層コーティング膜 3 2 b を T a 2 O 5 で形成するとその屈折率は $n 2 = 2.057$ となり、想定するレーザ光の波長 $\lambda 0 = 980 \text{ nm}$ とし、 $a 0 = 1.0$ 、 $a 1 = 0.5$ 、 $a 2 = 1.5$ 及び $b 1 = 3.5$ とすると、 $d 1 = 32.07 \text{ nm}$ 、 $d 2 = 70.75 \text{ nm}$ の時に無反射になる。

【0037】

図 6 はこの発明の一実施例である実施例 5 の反射率の計算結果を示すグラフである。

このときレーザ光の波長 $\lambda 0 = 980 \text{ nm}$ 近傍の反射率が 1 % 以下になる波長領域幅は、図 6 に示される如く 83 nm となり非常に広い波長領域幅になっている。このとき第 1 層コーティング膜 2 2 a から表面層コーティング膜 3 8 までのトータル膜厚、つまり $a 0 n 1 d 1 + a 0 n 2 d 2 + a 1 n 1 d 1 + a 1 n 2 d 2 + a 2 n 1 d 1 + a 2 n 2 d 2 + b 1 n 1 d 1$ は 774.36 nm であり、 $\lambda 0 / 4$ よりも大きくなっている。

【0038】

実施例 6

図 4 に示した、3 段重ねの低反射コーティング膜 1 4 を使用したもう一つの実施例について説明する。

半導体レーザの等価屈折率 $n c = 3.37$ 、第 1 層コーティング膜 2 2 a、第 3 層コーティング膜 2 4 a、及び第 5 層コーティング膜 3 2 a を a-Si で形成するとその屈折率は $n 1 = 2.60$ 、第 2 層コーティング膜 2 2 b、第 4 層コーティング膜 2 4 b 及び第 6 層コーティング膜 3 2 b を A l 2 O 3 で形成するとその屈折率は $n 2 = 1.65$ 、想定するレーザ光の波長 $\lambda 0 = 980 \text{ nm}$ とし、 $a 0 = 1.0$ 、 $a 1 = 2.0$ 、及び $a 2 = 4.0$ とすると、 $d 1 = 29.50 \text{ nm}$ 、 $d 2 = 37.89 \text{ nm}$ の時に無反射になる。

【0039】

図 7 はこの発明の一実施例である実施例 6 の反射率の計算結果を示すグラフである。

このときレーザ光の波長 $\lambda 0 = 980 \text{ nm}$ 近傍の反射率が 1 % 以下になる波長領域幅は、図 7 に示される如く、 224.0 nm となり非常に広い波長領域幅になっている。

なお、ここで a-Si の屈折率を 2.60 としたが、これは a-Si が酸素導入等の製膜条件によって 3.0 以下の屈折率を持つように容易に実現できることを考慮したものである。

また同様に、この実施例の計算において、A l 2 O 3 の屈折率を 1.65 として計算している。

【0040】

以上述べたように、この実施の形態においては、屈折率 $n 1$ の材料で膜厚を $d 1$ としたコーティング膜と屈折率 $n 2$ の材料で膜厚を $d 2$ としたコーティング膜とを一对とし、パラメータ $a 0$ 、 $a 1$ 、及び $a 2$ により厚さを変えた、2 段重ね及び 3 段重ねのコーティング膜対からなる低反射コーティング膜 1 4、さらに 3 段重ねのコーティング膜対にさらに屈折率 $n 1$ の材料で膜厚を $d 1$ としたコーティング膜を加えた低反射コーティング膜 1 4 について説明したが、これは 2 段、3 段にとどまらずさらに段数を増加させた多段の低反射コーティング膜としても構成することができる。

【0041】

そして、実施の形態 1 と同様に、無反射膜の構成は、トータル膜厚 ($a 0 n 1 d 1 + a 0 n 2 d 2 + a 1 n 1 d 1 + a 1 n 2 d 2 + \dots + a k n 1 d 1 + a k n 2 d 2 + \dots$) 及び ($a 0 n 1 d 1 + a 0 n 2 d 2 + a 1 n 1 d 1 + a 1 n 2 d 2 + \dots + a k n 1 d 1 + a k n 2 d 2 + b 1 n 1 d 1$) が $\lambda 0 / 4$ の整数倍ではなく、特性行列が理想的単層膜とは一致しない。このためコーティング膜の $n 1$ 、 $n 2$ を選定した後に、 $d 1$ 、 $d 2$ で調整できるために、コーティング膜の材料選定が容易になり、低反射膜の設計の自由度が大きくなるという利点がある。

【0042】

さらに、この実施の形態においては、パラメータ $a k$ ($k = 1, 2, 3, \dots$)、例えば $a 0$ 、 $a 1$ 、 $a 2$ 、 $b 1$ 等の値を様々に選択することにより、想定するレーザ光の所望の波長 $\lambda 0$ 近傍の反射率が 1 % 以下になる波長領域幅など、反射率の波長依存性を比較的自

10

20

30

40

50

由度高く選択することができ、様々なレーザの出力特性を設定することができて、多様な半導体レーザ装置を容易に構成することができる。延いては所望の反射率の波長依存性を有する低反射被覆膜層を備えた光半導体装置を簡単に構成することができる。

【0043】

実施の形態3.

図8はこの発明に係る半導体レーザ装置の低反射コーティング膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。

図8において、この半導体レーザ装置は所望の波長 λ_0 において無反射または反射率が極小となるようにし、その他の波長においては反射率がより高くなるようになっており、半導体レーザ装置この様な反射率の波長依存性を持つように無反射膜または低反射膜を構成することは、実施の形態1や実施の形態2に記載した低反射コーティング膜を構成することにより容易に実現することができる。

10

【0044】

半導体レーザのトータル損失（あるいは総損失） α_t は、内部損失 α_{in} 、共振器長 L 、レーザ光の出射の前端面反射率 R_f 、及び後端面反射率 R_r により式(12)の様に表すことができる。すなわち

$$\alpha_t = \alpha_{in} + (1 / (2L)) \ln (1 / (R_f R_r)) \quad (12)$$

図9はこの発明に係る半導体レーザ装置のトータル損失 α_t の波長依存性を示すグラフである。

前端面反射率 R_f が、所望の波長 λ_0 において反射率が極小となる場合には、図9に示すように、この波長 λ_0 において損失が極大となる波長依存性を有することになる。

20

【0045】

図10はこの発明に係る半導体レーザ装置のトータル損失 α_t と利得 g の波長依存性を示すグラフである。

図10において、実線は利得 g_1 、 g_2 、 g_3 を示す曲線、破線はトータル損失 α_t を示す曲線である。曲線 g_1 は注入電流が小さいときまたは低温の時、曲線 g_3 は注入電流が大きいときまたは高温の時、曲線 g_2 は曲線 g_1 と曲線 g_3 の中間的な条件の時である。

【0046】

曲線 g_1 の場合には λ_1 において、利得とトータル損失が等しくなり、曲線 g_3 の場合には λ_4 において利得とトータル損失が等しくなっていて、それぞれの波長においてレーザ発振を行う。

30

曲線 g_2 の場合は、波長 λ_0 を挟んで、 λ_2 と λ_3 の2箇所において利得とトータル損失が等しくなっていて、 λ_2 と λ_3 でレーザ発振が可能となる。

すなわち、まず注入電流が小さいかまたは低温であるために発熱による温度上昇が小さいときは、曲線 g_1 の場合に示したように少ない利得で済み、波長 λ_0 の短波長側でのみ損失と利得が等しくなり、半導体レーザは発振することとなる。曲線 g_1 の場合よりも温度状態が高いかまたは注入電流が増加して温度上昇が増したときは、曲線 g_2 に示すように多くの利得を必要とするため、波長 λ_0 を挟んで短波長側と長波長側の2箇所で利得と損失とが等しくなる。従って、この場合には半導体レーザは λ_2 と λ_3 の2波長で発振する。

40

【0047】

さらに、温度が高いか注入電流が増えて温度上昇が大きくなったときには曲線 g_3 に示すように波長 λ_0 の長波長側でのみ利得と損失とが等しくなり、半導体レーザは波長 λ_4 で発振する。

この様に、所望の波長 λ_0 において反射率が極小となるようにし、かつ波長 λ_0 を挟んで短波長側と長波長側の2箇所で利得と損失とが等しくなるように無反射膜を構成し半導体レーザ端面に配設することにより、2波長で発振する半導体レーザ装置を構成することができる。

【0048】

50

実施例 7

図 11 はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザの断面図である。

図 11 において、40 は半導体レーザ、42 はこの半導体レーザ 40 の n 型 GaAs 基板（以下“n 型”を“n-”、“p 型”を“p-”と表記する）、44 は n-GaAs 基板 42 上に配設された n-AlGaAs クラッド層、46 は n-AlGaAs クラッド層上に配設されたアンドープの n 側 AlGaAs ガイド層、48 は n 側 AlGaAs ガイド層 46 の上に配設されたアンドープの n 側 GaAs ガイド層、50 は n 側 GaAs ガイド層 48 上に配設された量子井戸構造の活性層で、活性層 50 はアンドープ InGaAs 量子井戸層 50a とアンドープ GaAs バリア層 50b を有している。

【0049】

52 は活性層 50 の上に配設されたアンドープの p 側 GaAs ガイド層、54 は p 側 GaAs ガイド層 52 の上に配設されたアンドープの p 側 AlGaAs ガイド層、56 は p 側 AlGaAs ガイド層 54 の上に配設された p-AlGaAs クラッド層、58 は p-AlGaAs クラッド層 56 の上に配設された p-GaAs キャップ層で、p 側 AlGaAs ガイド層 54 と p-GaAs キャップ層 58 とによりリッジ型の光導波路を形成し、この光導波路の両端面で共振器を構成している。この実施例の共振器長は 1500 μm で、発振波長は 980 nm である。

【0050】

60 は Si₃N₄ 絶縁膜で、p-GaAs キャップ層 58 に電流経路となる開口部 60a が形成されている。62 は Si₃N₄ 絶縁膜 60 上に配設された p 側電極で Si₃N₄ 絶縁膜 60 の開口部 60a を介して p-GaAs キャップ層 58 と接触している。64 は n-GaAs 基板 42 の裏面側に配設された n 側電極、66 は金線、68 は光導波路を含むリッジ領域、70 はリッジ領域 68 の両側に設けられた低屈折率領域、72 はリッジ領域 68 に対して低屈折率領域 70 の両外側に設けられた高屈折率領域である。

【0051】

リッジ領域 68 の外側に低屈折率領域 70 を設けているのでレーザ光はリッジ領域 68 に効率的に閉じ込めることができる。また電流の閉じ込めは、Si₃N₄ 絶縁膜 60 に開口部 60a を設けることで可能となる。低屈折率領域 70 の外側に高屈折率領域 72 を設け、高屈折率領域 72 の上に金線 66 をワイヤボンドする構成としている。

【0052】

そして光導波路の前端面に低反射コーティング膜（図示せず）を設けている。低反射コーティング膜の構成は、実施の形態 1 の低反射コーティング膜 14 と同じ構成で、半導体レーザの等価屈折率 n_c を $n_c = 3.37$ 、第 1 層コーティング膜 16 を屈折率 n_1 が $n_1 = 1.62$ の Al₂O₃ により 240 nm の膜厚に形成し、第 2 層コーティング膜 18 を屈折率 n_2 が $n_2 = 2.057$ の Ta₂O₅ により 183 nm の膜厚に形成した。後端面反射率 R_r は 98% である。

なおこの半導体レーザ 40 はファイバアンプ励起用 980 nm 半導体レーザであるが、これに限るものではない。

【0053】

図 12 は、この発明の一実施の形態に係る半導体レーザの低反射コーティング膜の反射率を示すグラフである。

$\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ 近傍の 1% 以下の低反射率領域幅は約 52 nm である。

図 13 はこの実施の形態に係る半導体レーザ装置の発振波長の注入電流依存性の実験結果を示すグラフである。

図 13 において、注入電流を増加してゆくと約 100 mA 近傍で波長が 15 nm だけ急激に長波長領域に遷移している。つまり一つの半導体レーザで 15 nm 離れた 2 波長の光を出射することができる。さらに詳細に実験した結果、1% 以下の低反射率領域幅が約 55 nm より狭くなると 2 波長発振が可能であることが明らかになった。

【0054】

実施例 8

10

20

30

40

この実施例は、半導体レーザの構成は実施例 7 と同じにし、低反射コーティング膜の構成を実施の形態 2 に記載した、6 層構成の低反射コーティング膜とした場合である。

第 1 層、第 3 層、及び第 5 層のコーティング膜に屈折率 n_1 が $n_1 = 1.62$ の Al_2O_3 を使用し、第 2 層、第 4 層、及び第 6 層のコーティング膜に屈折率 n_2 が $n_2 = 2.057$ の Ta_2O_5 を使用し、その膜厚を、

第 1 層／第 2 層／第 3 層／第 4 層／第 5 層／第 6 層 = $24.2 \text{ nm} / 196.3 \text{ nm} / 30.2 \text{ nm} / 245.4 \text{ nm} / 36.2 \text{ nm} / 294.5 \text{ nm}$ としたものである。

図 1 4 はこの発明の一実施例である実施例 8 の反射率を示すグラフである。

図 1 4 に示すように、1 % 以下の低反射率領域幅が 28 nm と狭くなるので、レーザ光の波長変化が 15 nm 以上の変化が可能となる。

【0055】

実施例 9

この実施例は、実施例 7 の半導体レーザの共振器長が $1500 \mu\text{m}$ であったのに対して、この実施例 9 では共振器長を $900 \mu\text{m}$ としたものである。

前端面の低反射コーティング膜の構成は、実施の形態 1 の低反射コーティング膜 1 4 と同じ構成で、半導体レーザの等価屈折率 n_c を $n_c = 3.37$ 、第 1 層コーティング膜 1 6 を屈折率 n_1 が $n_1 = 1.62$ の Al_2O_3 により 240 nm の膜厚に形成し、第 2 層コーティング膜 1 8 を屈折率 n_2 が 2.057 の Ta_2O_5 により 183 nm の膜厚に形成した。また後端面反射率 R_r は 98 % である。

【0056】

先に示した式 (12) の右辺第 2 項はミラー損失と言われるものであり、共振器長に反比例する。従って共振器長を $1500 \mu\text{m}$ から $900 \mu\text{m}$ にすると、ミラー損失は増大する。

図 1 5 は共振器長の相違による半導体レーザのトータル損失を比較したグラフである。

図 1 6 はこの発明の一実施例である実施例 9 の半導体レーザにおける発振波長の実験結果を示すグラフである。

【0057】

実施例 9 は実施例 7 と端面の低反射率コーティング膜と同じ構成であるが、共振器長を $1500 \mu\text{m}$ から $900 \mu\text{m}$ もので、図 1 6 に示される発振波長の注入電力依存性の実験結果は、半導体レーザの発振波長の変化は 41 nm となり、共振器長の長さを短くすることで、発振波長の変化が大きくなっていることが分かる。一つの半導体レーザが 41 nm 離れた光を出射でき、2 波長レーザとして有効である。延いては共振器長 L が $L \leq 1500 \mu\text{m}$ である一つの半導体レーザで二波長の光を発振できる半導体レーザを簡単に構成することができる。

共振器長さをさらに短くすれば、さらに波長の離れた光を出射できることは言うまでもない。また同様に、共振器長が短い場合は、1 % 以下の低反射波長領域幅が 55 nm を越えても波長変化を起こさせることは可能である。

【0058】

以上のように、この実施の形態では、所定の波長 λ_0 において反射率が極小で、かつ波長 λ_0 を挟んで短波長側と長波長側の 2 箇所ですべて利得と損失とが等しくなる低反射膜を構成し、半導体レーザの出射前端面にこの低反射膜を配設することにより、一つに半導体レーザにおいて 2 波長で発振する半導体レーザ装置を構成することができる。延いては一つの半導体レーザで二波長の光を発振できる半導体レーザを簡単に構成することができる。

【0059】

実施の形態 4.

通信用として使用される半導体レーザは波長変化の少ない安定した特性が必要となる。一般に、端面におけるコーティング膜のトータル膜厚が所定の波長の $1/4$ 以下であれば、1 % 以下の低反射率となる波長領域幅が 100 nm を越えるので、波長変化を少なくすることは可能であるが、トータル膜厚が薄いために放熱が悪く、端面劣化の原因となる場合がある。

10

20

30

40

50

【0060】

図17はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置のトータル損失と利得との関係を示すグラフである。

この半導体レーザ装置は、実施の形態1または2で述べた低反射コーティング膜を半導体レーザの出射端面側に配設した構成を有し、所定の波長 λ_0 において、反射率を極小にするとともに、図17のように所定の波長 λ_0 の短波長側でトータル損失と利得とが等しくなり、式(12)で示したトータル損失と利得 $g(\lambda)$ が長波長側の波長 λ において式(13)を満たせば波長変化を抑制することが可能となる。

$$\alpha \ln + (1 / (2L)) \ln (1 / (R_f R_r)) > g(\lambda) \quad (13)$$

【0061】

また逆に、所定の波長 λ_0 の長波長側でトータル損失と利得とが等しくなった場合は、波長 λ_0 の短波長側の波長 λ において、式(13)を満たせば、同様に波長変化を抑制することが可能となる。

そして詳細に検討した結果、所定の波長 λ_0 の近傍において、1%以下の低反射率となる波長領域幅が55nm以上あれば式(13)が満足され、10nm以上の波長変化が生じない半導体レーザを構成することができることが明らかになった。

【0062】

実施例10

式(13)左辺第2項はのミラー損失は共振器長に反比例するので共振器長が長くなるとミラー損失は小さくなる。この実施例10の半導体レーザは実施例7に示された図11と同じ構成の半導体レーザで、半導体レーザの等価屈折率 n_c は $n_c = 3.37$ である。ただ共振器長を1800 μm とするとともに、出射前端面の低反射コーティング膜を実施の形態1で説明した2層構造の低反射コーティング膜としたものである。

【0063】

低反射コーティング膜の構造は、第1層コーティング膜として屈折率 n_1 が $n_1 = 1.62$ の Al_2O_3 を膜厚240nmに形成し、第2層コーティング膜として屈折率 n_2 が $n_2 = 2.057$ の Ta_2O_5 を膜厚183nmに形成したもので、発振波長の近傍の1%以下の低反射率を示す波長領域幅が約52nmであった。

図18はこの発明の一実施例である実施例10における発振波長の電流依存性の実験結果を示すグラフである。

【0064】

図18において、注入電流を変化させても、また周囲温度を変化させても10nm程度の波長変化は認められない。

この実施例は共振器長が1800 μm の場合であるが、実施の形態に係る発明はこれに限るものではない。また共振器長が長くなると発振波長の近傍の1%以下の低反射率を示す波長領域幅がより狭くなっても波長変化は抑制される。

【0065】

以上のようにこの実施の形態に係る半導体レーザにおいては、波長 λ_0 の短波長側、長波長側のいずれか一方において半導体レーザの総損失と半導体レーザの利得とを等しくし、他方の短波長側または長波長側において半導体レーザの総損失を半導体レーザの利得よりも大きくすることにより、周囲温度や注入電流を変えても発振波長変化の少ない半導体レーザを構成することができる。

さらに半導体レーザの端面に低反射コーティング膜を形成し、所定の波長 λ_0 に極小値を有する反射率の波長依存性を確保するとともに、1%以下の低反射率となる波長領域幅を55nm以上にすることにより、温度変化や注入電力量の変化に対して波長変動が少なく安定した半導体レーザ装置を構成することができる。

延いては発振波長の安定した半導体レーザを簡単に構成することができる。

【0066】

実施の形態5.

この実施の形態5も実施の形態4と同様に、通信用として使用される半導体レーザにおい

10

20

30

40

50

て波長変化の少ない安定した特性を有する半導体レーザの構成に係るものである。
この実施の形態5は、実施の形態4で明らかになった、所定の波長 λ_0 の近傍において、1%以下の低反射率となる波長領域幅が55nm以上確保するための構成を、実施の形態1または2で述べた低反射コーティング膜を半導体レーザの出射端面側に配設するものではなく、半導体レーザの光導波路の軸を共振器端面に対して少し傾ける構成を有する半導体レーザである。

【0067】

この半導体レーザは実施例7の図11に示されたの構成で、半導体レーザのリッジ型光導波路の軸が共振器端面に対して1.5°偏倚していることと出射前端面にA1203の膜厚が454nmのコーティング膜が形成されていることの2点で異なっている。

図19はこの実施の形態に係る半導体レーザにおける反射率の波長依存性を示したグラフである。図19には比較のために、半導体レーザの光導波路の軸に対して共振器端面を傾けない場合の反射率の波長依存性も記載している。

【0068】

図19において、曲線aは半導体レーザの光導波路の軸を共振器端面に対して1.5°偏倚させた場合の反射率、曲線bは光導波路の軸に対して共振器端面を傾けない場合の反射率である。ともに出射前端面にはA1203のコーティング膜を膜厚454nmで形成している。

図19から分かるように、半導体レーザの光導波路の軸を共振器端面に対して1.5°偏倚させることにより、1%以下の低反射率となる波長領域幅が160nmに拡大していることが分かる。

【0069】

図20はこの実施の形態に係る半導体レーザの発振波長の電流依存性の実験結果を示すグラフである。

図20において、周囲温度をパラメータとして検討した結果、注入電流を変化させても、また周囲温度を変化させても10nmを越える波長変化は認められない。

【0070】

以上のようにこの実施の形態に係る半導体レーザにおいては、半導体レーザの光導波路の軸を共振器端面に対して少し偏倚させることにより、1%以下の低反射率となる波長領域幅を55nm以上にすることにより、温度変化や注入電力量の変化に対して波長変動が少なく安定した半導体レーザ装置を構成することができる。

【0071】

実施の形態6.

この実施の形態に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザの活性層から決まる発振波長よりも無反射となる波長を長波長側にした構成を有する。

すなわち波長 λ_0 よりも半導体レーザの発振波長を短くしたもので、周囲温度や注入電流を変えても発振波長の変化の少ない半導体レーザを構成することができる。延いては使用条件によらず発振波長の安定した半導体レーザ装置を構成することができる。

例えば、実施の形態1に記載した2層のコーティング膜からなる低反射コーティング膜14を、共振器長が900 μ mの半導体レーザの出射端面に形成した構成において、電子ビーム蒸着により第1層コーティング膜16として半導体レーザ端面にA1203のコーティング膜を240nmの膜厚で形成し、第2層コーティング膜18として、Ta2O5のコーティング膜を183nmの膜厚で形成し、 λ_0 が965nmにおいて、反射率が極小となるようにした。

【0072】

図21はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置における発信波長の動作電流依存性を示す実験結果のグラフである。

図21において、半導体レーザの発振波長を周囲温度をパラメータとして調べた結果、ほとんど発振波長が変化しないことが分かる。

また発振波長は955nmの近傍にあるので、発振波長は反射率が極小値を示す λ_0 より

10

20

30

40

50

短波長側に存在している。

【0073】

次にこの実施の形態の半導体レーザに発振波長の変化が少ないことについて説明する。

図22は半導体レーザの反射率に波長依存性がない場合の損失と利得の関係を示す模式図である。

図22において、破線a10はトータル損失を、実線b10、b20は利得を示す。またS10は低温における総利得、Sh0は高温における総利得であり、それぞれ注入電流に比例する値である。

一般には高温ほど注入電流が利得に変換される割合が低下するため、高温ほど多くの注入電流が必要となる。図22に示されるように、この半導体レーザにおいては、低温状態では波長 λ_{l0} で、また高温状態においては波長 λ_{h0} で発振するので、温度に対する波長変化は $(\lambda_{h0} - \lambda_{l0}) / (Sh0 - S10)$ に比例する。通常はAlGaAs系半導体レーザでは約0.2~0.3nm/℃、InGaAs系半導体レーザでは約0.4~0.7nm/℃と言った大きな値になる。

【0074】

図23はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザの損失と利得の関係を示す模式図である。

図23において、破線a1はトータル損失を、実線b1、b2は利得を示す。またS1は低温における総利得、Shは高温における総利得であり、それぞれ注入電流に比例する値である。

一方この実施の形態に係る半導体レーザにおいては、図23に示されるように、低温状態では波長 λ_l で、また高温状態では波長 λ_h で発振するので、温度に対する波長変化は $(\lambda_h - \lambda_l) / (Sh - S1)$ に比例する。ところが破線aで示されるようにトータル損失が波長とともに増加する領域にあるので、 $Sh \gg S1$ となる。

【0075】

このためトータル損失に波長依存性がある場合の温度に対する波長変化は、式(14)に示されるようにトータル損失に波長依存性がない場合に比べて小さくなる。すなわち

$$(\lambda_h - \lambda_l) / (Sh - S1) < (\lambda_{h0} - \lambda_{l0}) / (Sh0 - S10) \quad (14)$$

となる。

以上の説明では、波長依存性がない場合について説明したが、損失が波長依存性を有する程度によっても、波長変化の程度が変わる。つまり、波長に対する損失増加が大きいほど波長の温度変化及び波長の注入電流による変化を抑制することができる。

【0076】

実施の形態7.

図24はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式断面図である。

図24において、80は半導体レーザ装置、82は半導体レーザ、84は半導体レーザ82の出射端面に対向しレーザ光の光軸に合わせて配設されたレンズ、86はレンズ84を介して半導体レーザ82の出射端面に対向しレーザ光の光軸に合わせて配設された光ファイバである。

【0077】

88は半導体レーザ82の後端面に配設されたコーティング膜で、その反射率は R_r である。90は半導体レーザ82の前端面に配設された低反射コーティング膜で、その反射率は R_f である。92は半導体レーザ82の光導波路領域、94は光ファイバ86に設けられたファイバグレーティングで、その反射率は R_{fg} である。

【0078】

この半導体レーザ82では、低反射コーティング膜として実施の形態1及び2に記載した低反射コーティング膜を使用する。低反射コーティング膜90は所定の波長 λ_0 において極小値を有する反射率をもち、1%以下の低反射率となる波長領域幅を55nm以上にしたものである。

10

20

30

40

50

この半導体レーザ装置 80 は、半導体レーザ 82 の発振波長を安定化させるために光ファイバ 86 内にファイバグレーティング 94 を設けて、特定の波長の光を反射させて、かつ半導体レーザ 82 の前端面を低反射または無反射に、また半導体レーザ 82 の後端面を高反射率にすることで、ファイバグレーティング 94 と半導体レーザ 82 の後端面との間で共振器を構成している。またレンズ 84 は半導体レーザ 82 からの光を効率よく光ファイバ 86 内に入射させるためのものである。

【0079】

次に動作について説明する。

図 25 及び図 26 は従来のファイバグレーティングを有する半導体レーザ装置の利得と損失とを示すグラフである。

図 25 において、ファイバグレーティングは特定の波長 λ_{fg} に対して反射率は R_{fg} であるが、その他の波長に対しては反射率はほぼゼロである。このため波長 λ_{fg} で損失が小さくなり通常はこの波長で半導体レーザは発振する。

しかしながら、例えば周囲温度が低いときは、利得分布が短波長に変位するため、図 26 に示されるように、ファイバグレーティングによって決まる損失より半導体レーザ前端面のコーティング膜によって決まる損失の方が小さくなる場合がある。このときには、波長 λ_{fg} ではなく波長 λ_{LD} で発振する。

【0080】

このとき波長 λ_{fg} の光強度に対する波長 λ_{LD} の光強度の比であるサイドモード抑圧比が小さくなってしまう場合やファイバグレーティングによって決まる波長以外で半導体レーザが発振してしまうということが起きる。

この実施の形態では半導体レーザの出射前端面に低反射コーティング膜をもうけるとともにこの低反射コーティング膜の 1% 以下の低反射率となる波長領域幅を 55 nm 以上にしたもので、半導体レーザの前端面のコーティング膜の反射率の波長依存性で決まる発振を抑制することができ、サイドモード抑圧比が小さくなることを防ぐことができる。延いてはファイバグレーティングによって規定される発振波長で安定して発振する半導体レーザ装置を簡単に構成することができる。

【0081】

図 27 はこの発明の一実施の形態に係るファイバグレーティングを有する半導体レーザ装置の利得と損失とを示すグラフである。

図 27 において、この半導体レーザ 82 の前端面の低反射コーティング膜 90 を 1% 以下の低反射率となる波長領域幅を、例えば 100 nm 以上有するものとしたので、周囲温度または注入電流を変えたときでも、半導体レーザ 82 の前端面の低反射コーティング膜 90 で決まる波長で発振することはなく、ファイバグレーティングで決まる波長で発振させることができる。延いては発振波長の安定した半導体レーザ装置を構成することができる。

【0082】

実施の形態 8.

この実施の形態の半導体レーザ装置は、実施の形態 7 と同様にファイバグレーティングを有する半導体レーザ装置で、基本構成は実施の形態 7 と同じである。ただ、半導体レーザ 82 の前端面に配設された低反射コーティング膜 90 の構成が異なり、反射率が極小になる所定の波長 λ_0 がファイバグレーティングの波長 λ_{fg} より短い場合には、低反射コーティング膜 90 の反射率が波長 λ_0 の長波長側で短波長側より緩やかに上昇し、反射率が極小になる所定の波長 λ_0 がファイバグレーティングの波長 λ_{fg} より長い場合には、低反射コーティング膜 90 の反射率が波長 λ_0 の短波長側で長波長側より緩やかに下降するように設定したものである。

【0083】

この構成により、サイドモード抑圧比が大きくとることができ、ファイバグレーティングの波長 λ_{fg} により定まる発振波長で、半導体レーザ装置を安定に発振させることができる。延いてはファイバグレーティングによって規定される発振波長で安定して発振する

10

20

30

40

50

半導体レーザ装置を簡単に構成することができる。

【0084】

実施例11

この実施例11は、等価屈折率 n_c が $n_c = 3.37$ の半導体レーザの前端面に、実施の形態2に記載した4層膜の低コーティング膜90を形成したものである。

低コーティング膜90の構成は、第1層として屈折率 $n_1 = 1.62$ の Al_2O_3 膜を膜厚 25.23 nm 形成し、第2層として屈折率 $n_2 = 2.057$ の Ta_2O_5 膜を膜厚 24.69 nm 形成し、第3層として屈折率 $n_1 = 1.62$ の Al_2O_3 膜を膜厚 37.84 nm 形成し、第4層として屈折率 $n_2 = 2.057$ の Ta_2O_5 膜を膜厚 37.04 nm 形成したものである。

【0085】

図28はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の反射率の波長依存性を示すグラフである。

図28において、波長 $\lambda_0 = 980\text{ nm}$ で反射率はゼロとなり、短波長側及び長波長側にずれるにつれて反射率は増加する。ただし反射率の増加は波長 $\lambda_0 = 980\text{ nm}$ を中心として対象ではなく、長波長側の波長の変化に伴う反射率の変化の方が短波長側の波長の変化に伴う反射率の変化に比べて緩やかに変化している。

図29はこの発明の一実施例である実施例11のファイバグレーティングを伴う半導体レーザ装置の損失と利得を示すグラフである。

【0086】

図29において、破線はトータル損失 α_t 、実線は利得 g である。また λ_0 は反射率が極小になる波長で、 λ_{fg} はファイバグレーティングの波長である。

図29に示されるように、トータル損失の変化は波長 λ_0 の長波長側で緩やかになる。従って、ファイバグレーティングの波長 λ_{fg} を低反射または無反射となる波長 λ_0 より長波長側に設定すると半導体レーザの利得が短波長では損失と等しくなりにくくサイドモード抑圧比が大きくとれることになる。

【0087】

実施の形態9

この実施の形態9は、既に述べた実施の形態2の実施例5をさらに拡張したものである。この実施の形態9は、実施の形態2の実施例5と同様に、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_0 \times d_1$ としたコーティング膜と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_0 \times d_2$ としたコーティング膜からなる基底コーティング膜対の上に、屈折率が n_1 で係数 a_k ($k = 1, 2, \dots, m$)を正の実数としたときに膜厚が $a_k \times d_1$ である第3の被覆膜とこの第3の被覆膜上に配設された屈折率が n_2 で膜厚が $a_k \times d_2$ の第4の被覆膜とを有する被覆膜対を、 $k = 1, 2, \dots, m$ と変化させてさらに m 対重ねて形成し、最上層の被覆膜対の第4の被覆膜表面に、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $b_1 \times d_1$ とした第5の被覆膜を形成するものである。

【0088】

そしてこの実施の形態9では、7層膜の実施例を増やすとともに、9層膜にさらに拡張した実施例を提示した。

図30はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

図30において、100は半導体レーザ装置、102は第2コーティング膜対32の上に形成された第3コーティング膜対で、102aは第3の被覆膜としての第7層コーティング膜で、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_3 d_1$ としたものである。102bは第4の被覆膜としての第8層コーティング膜で、屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_3 d_2$ としたものである。 a_3 はパラメータで正の実数である。

【0089】

38は屈折率 n_1 の材料で膜厚を $b_1 d_1$ (パラメータ b_1 は正の実数)とした第5の被覆膜としての表面層コーティング膜である。

第3コーティング膜対102は第7層コーティング膜102aと第8層コーティング膜1

10

20

30

40

50

02bで構成される。表面層コーティング膜38の一方の界面は第8層コーティング膜102bに密着し、もう一方の界面は、この実施の形態では、屈折率 n_0 が $n_0 = 1$ の自由空間に接している。

無反射条件の導出は実施の形態2の場合と同様で、低反射コーティング膜14が配設された端面の振幅反射率 r の実部と虚部とがゼロになるように膜厚 d_1 、 d_2 を定める。

【0090】

また、 n_1 と n_2 のいずれか一方が、 $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より小さく、他方が $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より大きく設定する。いまは $n_0 = 1$ であるので、 n_1 と n_2 の値の間に $(n_c)^{1/2}$ が存在するように設定する。

特にこの実施の形態では、 $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より小さい屈折率を有した材料で構成されるコーティング膜を半導体レーザ素子12の端面に密着させて低反射コーティング膜14を構成している。

この様に構成することにより、低反射膜の設計の自由度が高くなることは既に述べた実施の形態と同様である。

さらに反射率が1%以下になる低反射領域が非常に広い被覆膜を容易に構成できるので、複数波長の光を伝播させる光半導体装置の被覆膜として使用しやすくなる。

【0091】

また、反射率が1%以下になる低反射領域が非常に広く、かつ被覆膜のトータル膜厚を伝播する光の波長の $1/4$ に相当する膜厚（以下、 $\lambda_0/4$ 膜厚という）より容易に厚くすることができるので、光半導体素子の端面における熱伝導性がよく熱劣化の少ない光半導体装置を構成することができる。延いては、広い波長領域の光の伝播が可能で熱安定性の優れた光半導体装置を構成することができる。

また、実施の形態7において記載した、ファイバグレーティングを設けた半導体レーザ装置に用いられる半導体レーザの出射端面に、この実施の形態で述べる反射率が1%以下になる低反射領域が非常に広い被覆膜を使用すると、広い波長範囲に亘ってファイバグレーティングの損失を半導体レーザ端面反射率で求まる損失よりも小さくできるので、半導体レーザの利得と端面反射率から決まる半導体レーザ自身の発振を抑制でき、延いてはサイドモード抑圧比が小さくなるのを防ぐことができ、レーザ特性の良い半導体レーザ装置を構成することができる。

【0092】

実施例12

この実施例12は図5に示された構成と同じ構成になる。

図5において、半導体レーザ素子12の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、第5層コーティング膜32a及び表面層コーティング膜38を屈折率が $n_1 = 1.62$ のアルミナ（Al₂O₃）で形成する。

第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bを、屈折率が $n_2 = 2.057$ の酸化タンタル（Ta₂O₅）で形成する。

【0093】

第1層コーティング膜22aの膜厚 D_1 を $a_0 \times d_1$ 、第2層コーティング膜22bの膜厚 D_2 を $a_0 \times d_2$ 、第3層コーティング膜24aの膜厚 D_3 を $a_1 \times d_1$ 、第4層コーティング膜24bの膜厚 D_4 を $a_1 \times d_2$ 、第5層コーティング膜32aの膜厚 D_5 を $a_2 \times d_1$ 、第6層コーティング膜32bの膜厚 D_6 を $a_2 \times d_2$ 、表面層コーティング膜38の膜厚 D_s を $b_1 \times d_1$ としたとき、 $a_0 = 0.8$ 、 $a_1 = 2.0$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、アルミナ及び酸化タンタルそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.695388$ 、 $\phi_2 = 1.05768$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ で無反射とすることができる。

【0094】

またこのとき各層の膜厚は、 $D_1 = 53.56 \text{ nm}$ 、 $D_2 = 64.16 \text{ nm}$ 、 $D_3 = 133.90 \text{ nm}$ 、 $D_4 = 160.40 \text{ nm}$ 、 $D_5 = 133.90 \text{ nm}$ 、 $D_6 = 160.40 \text{ nm}$ 、及び $D_s = 133.90 \text{ nm}$ となり（以下、 $D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6$

10

20

30

40

50

／ $D_s = 53.56 / 64.16 / 133.90 / 160.40 / 133.90 / 160.40 / 133.90$ nmのように略記する)、トータル膜厚 ($n_1 \times D_1 + n_2 \times D_2 + n_1 \times D_3 + n_2 \times D_4 + n_1 \times D_5 + n_2 \times D_6 + n_1 \times D_s$) は 1529.38 nmである。これは $\lambda_0 / 4$ 膜厚 245 nmの約 6.2 倍と非常に厚くなっている。

【0095】

図31はこの発明の一実施例12に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図31から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域幅は 150 nmと広がっている。

【0096】

実施例13

実施例12の半導体レーザを先に述べたようなファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。つまり半導体レーザの光の波長 λ_0 と反射率が1%である波長領域幅の中心波長とを合致させることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980$ nmを反射率が1%である波長領域幅の中心波長とするためには低反射コーティング膜14の構成は実施例12と同じにして、 $a_0 = 0.8$ 、 $a_1 = 2.0$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、アルミナ及び酸化タンタルそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.695388$ 、 $\phi_2 = 1.05768$ とし、波長 $\lambda = 944$ nmで無反射とすればよい。

なおこのとき、実施例12と a_0 、 a_1 、 a_2 、及び b_1 の値、および位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 の値が同じである場合、無反射となる波長が変化するに対応して、 d_1 、 d_2 の値が変化し、従って、各層の膜厚 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_s の値が変化する。

【0097】

すなわち、各層の膜厚は、 $D_1 / D_2 / D_3 / D_4 / D_5 / D_6 / D_s = 51.59 / 61.80 / 128.98 / 154.51 / 128.98 / 154.51 / 128.98$ nmとなる。これは以下に述べる他の実施例においても同様である。

図32はこの発明の一実施例13に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図32において、反射率が1%以下の波長領域幅は 144 nmである。

【0098】

実施例14

この実施例14は図30に示された構成と同じ構成になる。

図30において、半導体レーザの等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、第5層コーティング膜32a、第7層コーティング膜102a、及び表面層コーティング膜38を、屈折率が $n_1 = 1.62$ のアルミナ (A12O3) で形成する。

第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b、第6層コーティング膜32b、及び第8層コーティング膜102bを屈折率が $n_2 = 2.057$ の酸化タンタル (Ta2O5) で形成する。

【0099】

第1層コーティング膜22aの膜厚 D_1 を $a_0 \times d_1$ 、第2層コーティング膜22bの膜厚 D_2 を $a_0 \times d_2$ 、第3層コーティング膜24aの膜厚 D_3 を $a_1 \times d_1$ 、第4層コーティング膜24bの膜厚 D_4 を $a_1 \times d_2$ 、第5層コーティング膜32aの膜厚 D_5 を $a_2 \times d_1$ 、第6層コーティング膜32bの膜厚 D_6 を $a_2 \times d_2$ 、第7層コーティング膜38の膜厚 D_7 を $a_3 \times d_1$ 、第8層コーティング膜102bの膜厚 D_8 を $a_3 \times d_2$ 、そして表面層コーティング膜38の膜厚 D_s を $b_1 \times d_1$ としたとき、 $a_0 = 0.8$ 、 $a_1 = 2.15$ 、 $a_2 = 1.8$ 、 $a_3 = 2.08$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、アルミナ及び酸化タンタルそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.471712$ 、 $\phi_2 = 1.3307$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980$ nmで無反射とすることができる。

10

20

30

40

50

【0100】

またこのときの各層の膜厚は、 $D1/D2/D3/D4/D5/D6/D7/D8/Ds = 3.6.33/80.72/97.64/216.94/81.75/181.62/94.47/209.87/90.83 \text{ nm}$ である。

そしてトータル膜厚 ($n1 \times D1 + n2 \times D2 + n1 \times D3 + n2 \times D4 + n1 \times D5 + n2 \times D6 + n1 \times D7 + n2 \times D8 + n1 \times Ds$) は 2067.23 nm である。これは $\lambda_0/4$ 膜厚 245 nm の約 8.4 倍と非常に厚くなっている。

図33はこの発明の一実施例14に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図33から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域幅は 127 nm と広がっている。

【0101】

実施例15

実施例14の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ を反射率が1%である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜14の構成は実施例14と同じにして、 $a_0 = 0.8$ 、 $a_1 = 2.15$ 、 $a_2 = 1.8$ 、 $a_3 = 2.08$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、アルミナ及び酸化タンタルそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.471712$ 、 $\phi_2 = 1.3307$ とし、波長 $\lambda = 945 \text{ nm}$ で無反射とすればよい。

なおこのとき、各層の膜厚は、 $D1/D2/D3/D4/D5/D6/D7/D8/Ds = 35.04/77.84/94.16/209.19/78.83/175.13/91.09/202.38/87.59 \text{ nm}$ である。

図34はこの発明の一実施例15に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図34において、反射率が1%以下の波長領域幅は 122 nm である。

【0102】

実施例16

この実施例16は図5に示された構成と同じ構成になる。実施例12との相違は、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bを、屈折率が $n_2 = 2.954$ のシリコン (Si) で形成する点で、第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、第5層コーティング膜32a及び表面層コーティング膜38を屈折率が $n_1 = 1.62$ のアルミナ (Al₂O₃) で形成する点は実施例12と同じである。

この実施例16では、 $a_0 = 0.66$ 、 $a_1 = 2.5$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、アルミナ及びシリコンそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.561105$ 、 $\phi_2 = 1.33856$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ で無反射とすることができる。

【0103】

またこのとき各層の膜厚は、 $D1/D2/D3/D4/D5/D6/Ds = 35.65/46.65/135.06/176.69/108.05/141.35/108.05 \text{ nm}$ となる。

また、トータル膜厚は 1703.92 nm である。これは $\lambda_0/4$ 膜厚 245 nm の約 7.0 倍と非常に厚くなっている。

図35はこの発明の一実施例16に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図35から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域幅は 127 nm と広がっている。

【0104】

実施例17

実施例16の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レ

10

20

30

40

50

一ザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ を反射率が1%である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜14の構成は実施例16と同じにして、 $a_0 = 0.66$ 、 $a_1 = 2.5$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、アルミナ及びシリコンそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.561105$ 、 $\phi_2 = 1.33856$ とし、波長 $\lambda = 993 \text{ nm}$ で無反射とすればよい。

なおこのとき、各層の膜厚は、 $D_1 / D_2 / D_3 / D_4 / D_5 / D_6 / D_s = 36.13 / 47.27 / 136.85 / 179.03 / 109.48 / 143.23 / 109.48 \text{ nm}$ である。

図36はこの発明の一実施例17に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図34において、反射率が1%以下の波長領域幅は129 nmである。

【0105】

実施例18

この実施例18は図5に示された構成と同じ構成になる。実施例12との相違は、第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、第5層コーティング膜32a及び表面層コーティング膜38を屈折率が $n_1 = 1.45$ の石英(SiO_2)で形成する点で、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bを屈折率が $n_2 = 2.057$ の酸化タンタル(Ta_2O_5)で形成する点は実施例12と同じである。

この実施例18では、 $a_0 = 0.74$ 、 $a_1 = 2.0$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、石英及び酸化タンタルそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.516451$ 、 $\phi_2 = 1.33632$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ で無反射とすることができる。

【0106】

またこのとき各層の膜厚は、 $D_1 / D_2 / D_3 / D_4 / D_5 / D_6 / D_s = 41.11 / 74.98 / 111.11 / 202.65 / 111.11 / 202.65 / 111.11 \text{ nm}$ となる。

また、トータル膜厚は1530.87 nmである。これは $\lambda_0 / 4$ 膜厚245 nmの約6.2倍と非常に厚くなっている。

図37はこの発明の一実施例18に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図37から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域幅は137 nmと広がっている。

【0107】

実施例19

実施例18の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ を反射率が1%である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜14の構成は実施例18と同じにして、 $a_0 = 0.74$ 、 $a_1 = 2.0$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、石英及び酸化タンタルそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.516451$ 、 $\phi_2 = 1.33632$ とし、波長 $\lambda = 978 \text{ nm}$ で無反射とすればよい。

なおこのとき、各層の膜厚は、 $D_1 / D_2 / D_3 / D_4 / D_5 / D_6 / D_s = 41.03 / 74.83 / 110.88 / 202.34 / 110.88 / 202.34 / 110.88 \text{ nm}$ である。

図38はこの発明の一実施例19に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図38において、反射率が1%以下の波長領域幅は137 nmである。

【0108】

実施例20

10

20

30

40

50

この実施例 20 は図 5 に示された構成と同じ構成になる。実施例 12 との相違は、第 1 層コーティング膜 22 a、第 3 層コーティング膜 24 a、第 5 層コーティング膜 32 a 及び表面層コーティング膜 38 を屈折率が $n_1 = 1.45$ の石英 (SiO_2) で形成すること、及び第 2 層コーティング膜 22 b、第 4 層コーティング膜 24 b 及び第 6 層コーティング膜 32 b を屈折率が $n_2 = 2.954$ のシリコン (Si) で形成することである。この実施例 20 では、 $a_0 = 0.55$ 、 $a_1 = 2.3$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、石英及びシリコンそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.570164$ 、 $\phi_2 = 1.4274$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ で無反射とすることができる。

【0109】

またこのとき各層の膜厚は、 $D_1 / D_2 / D_3 / D_4 / D_5 / D_6 / D_s = 33.73 / 41.45 / 141.06 / 173.34 / 122.66 / 150.73 / 122.66 \text{ nm}$ となる。

また、トータル膜厚は 1688.92 nm である。これは $\lambda_0 / 4$ 膜厚 245 nm の約 6.9 倍と非常に厚くなっている。

図 39 はこの発明の一実施例 20 に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図 39 から分かるように、反射率の波長依存性は U 字状をしたバスタブ形状に近く反射率が 1% 以下の波長領域幅は 112 nm と広がっている。

【0110】

実施例 21

実施例 20 の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ を反射率が 1% である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜 14 の構成は実施例 20 と同じにして、 $a_0 = 0.55$ 、 $a_1 = 2.3$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $b_1 = 2.0$ とし、石英及びシリコンそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.570164$ 、 $\phi_2 = 1.4274$ とし、波長 $\lambda = 992 \text{ nm}$ で無反射とすればよい。

【0111】

なおこのとき、各層の膜厚は、 $D_1 / D_2 / D_3 / D_4 / D_5 / D_6 / D_s = 34.15 / 41.96 / 142.79 / 175.47 / 124.16 / 152.58 / 124.16 \text{ nm}$ である。

図 40 はこの発明の一実施例 21 に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図 40 において、反射率が 1% 以下の波長領域幅は 114 nm である。

【0112】

実施の形態 10.

この実施の形態 10 は、半導体レーザ素子 12 の端面に、屈折率 n_2 の材料で膜厚を $c_1 \times d_1$ (c_1 は正の実数) とした第 6 の被覆膜としての予備層コーティング膜を先に形成し、この予備層コーティング膜の上に、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_0 \times d_1$ としたコーティング膜と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_0 \times d_2$ としたコーティング膜からなる基底コーティング膜対を形成し、この基底コーティング膜対の上に、屈折率が n_1 で係数 a_k ($k = 1, 2, \dots, m$) を正の実数としたときに膜厚が $a_k \times d_1$ である第 3 の被覆膜とこの第 3 の被覆膜上に配設された屈折率が n_2 で膜厚が $a_k \times d_2$ の第 4 の被覆膜とを有する被覆膜対を、 $k = 1, 2, \dots, m$ と変化させてさらに m 対重ねて形成するものである。

【0113】

図 41 はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

図 41 において、110 は半導体レーザで、半導体レーザ素子 12 の端面上に 7 層のコーティング膜が形成されている。

112 は予備層コーティング膜で、予備層コーティング膜 112 は半導体レーザ素子 12

10

20

30

40

50

の端面に密着して形成され、予備層コーティング膜 1 1 2 の界面上には屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_0 \times d_1$ とした第 1 層コーティング膜 2 2 a が密着して形成されている。

【0114】

第 1 層コーティング膜 2 2 a 上には、屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_0 \times d_2$ とした第 2 層コーティング膜 2 2 b が形成され基底コーティング膜対 2 2 を形成している。この基底コーティング膜対 2 2 上には、屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_1 \times d_1$ とした第 3 層コーティング膜 2 4 a と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_1 \times d_2$ とした第 4 層コーティング膜 2 4 b とを一对とした第 1 コーティング膜対 2 4、及び屈折率 n_1 の材料で膜厚を $a_2 \times d_1$ とした第 5 層コーティング膜 3 2 a と屈折率 n_2 の材料で膜厚を $a_2 \times d_2$ とした第 6 層コーティング膜 3 2 b とを一对とした第 2 コーティング膜対 3 2 をさらに重ねて形成し、コーティング膜対を 3 段とし、予備コーティング膜 1 1 2 と合わせて 7 層のコーティング膜からなる低反射コーティング膜 1 4 が形成されている。

第 6 層コーティング膜 3 2 b の一方の界面は第 5 層コーティング膜 3 2 a に密着し、もう一方の界面は、この実施の形態では、屈折率 n_0 が $n_0 = 1$ の自由空間に接している。

【0115】

図 4.2 はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

図 4.2 において、120 は半導体レーザ装置である。

半導体レーザ装置 120 は、半導体レーザ素子 1 2 の端面に密着して形成された予備層コーティング膜 1 1 2 上に基底コーティング膜対 2 2、第 1 コーティング膜対 2 4、第 2 コーティング膜対 3 2 が形成され、さらにこの第 2 コーティング膜対 3 2 の上に第 3 コーティング膜対 1 0 2 が形成され、予備コーティング膜 1 1 2 と合わせて 9 層のコーティング膜からなる低反射コーティング膜 1 4 が形成されている。

第 3 コーティング膜対 1 0 2 の第 8 層コーティング膜 1 0 2 b は一方の界面が第 7 層コーティング膜 1 0 2 a に密着し、もう一方の界面は、この実施の形態では、屈折率 n_0 が $n_0 = 1$ の自由空間に接している。

図 4.1 で示された低反射コーティング膜 1 4 も、図 4.2 で示された低反射コーティング膜 1 4 もともに、無反射条件の導出は実施の形態 2 の場合と同様で、低反射コーティング膜 1 4 が配設された端面の振幅反射率 r の実部と虚部とがゼロになるように膜厚 d_1 、 d_2 を定める。

【0116】

また、 n_1 と n_2 のいずれか一方が、 $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より小さく、他方が $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より大きく設定する。いまは $n_0 = 1$ であるので、 n_1 と n_2 の値の間に $(n_c)^{1/2}$ が存在するように設定する。

特にこの実施の形態では、 $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より小さい屈折率を有した材料で構成されるコーティング膜を半導体レーザ素子 1 2 の端面に密着させて低反射コーティング膜 1 4 を構成している。

この様に構成することにより、この実施の形態 10 においても、実施の形態 9 と同様の効果を奏する。

【0117】

さらに、例えば $(n_c \times n_0)^{1/2}$ より小さい屈折率を有した材料で構成されるコーティング膜を半導体レーザ素子 1 2 の端面に密着させて低反射コーティング膜 1 4 を構成する場合には、半導体レーザ素子 1 2 の端面に最も近接しているコーティング膜（実施の形態 9 では第 1 層コーティング膜 2 2 a、実施の形態 10 では予備層コーティング膜 1 1 2）の膜厚が強く反射率分布に影響する。

このために、実施の形態 9 の効果に加えて、実施の形態 9 の様に第 1 層コーティング膜 2 2 a と第 2 層コーティング膜 2 2 b とを対で設定する必要がある場合に比べて、この実施の形態 10 では、半導体レーザ素子 1 2 の端面に最も近接しているコーティング膜を比較的自由度高く設定できるので、反射率が 1 % 以下となる部分の形状をより自由に設定することができるという効果がある。例えば反射率が 1 % 以下となる部分のバスタブ形状をより端正な形状にすることが出来る。

10

20

30

40

50

したがって、被覆膜層が配設された端面における反射率の波長依存性の設定の自由度をさらに高めることができる。延いてはより広範な所望の反射率の波長依存性を有する低反射被覆膜層を備えた光半導体装置を簡単に構成することができる。

さらに、光半導体素子の端面に最も近接する被覆膜の屈折率が、この被覆膜の上層に隣接する被覆膜の屈折率よりも小さくしたもので、この構成により、被覆膜の膜厚を厚く構成しかつ低反射領域を広くすることができる。延いては熱伝導特性がよく光半導体素子の端面における熱劣化の少ない光半導体装置を構成することができる。

さらに光半導体素子の端面に最も近接して配設された被覆膜をアルミナにより、またこのアルミナの被覆膜に隣接して配設された被覆膜を酸化タンタルによりそれぞれ構成したもので、簡単な材料構成で被覆膜の膜厚を厚く構成しかつ低反射領域を広くすることができる。延いては光半導体素子の端面における熱劣化の少ない光半導体装置を安価に提供することができる。

【0118】

実施例 22

この実施例 22 は図 41 に示された 7 層膜の構成である。

図 41 において、半導体レーザ素子 12 の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、予備層コーティング膜 112、第 2 層コーティング膜 22b、第 4 層コーティング膜 24b 及び第 6 層コーティング膜 32b を、屈折率が $n_2 = 1.62$ のアルミナ (A12O3) で形成する。

第 1 層コーティング膜 22a、第 3 層コーティング膜 24a、及び第 5 層コーティング膜 32a を屈折率が $n_1 = 2.057$ の酸化タンタル (Ta2O5) で形成する。

予備層コーティング膜 112 の膜厚 D_0 を $c_1 \times d_2$ 、第 1 層コーティング膜 22a の膜厚 D_1 を $a_0 \times d_1$ 、第 2 層コーティング膜 22b の膜厚 D_2 を $a_0 \times d_2$ 、第 3 層コーティング膜 24a の膜厚 D_3 を $a_1 \times d_1$ 、第 4 層コーティング膜 24b の膜厚 D_4 を $a_1 \times d_2$ 、第 5 層コーティング膜 32a の膜厚 D_5 を $a_2 \times d_1$ 、第 6 層コーティング膜 32b の膜厚 D_6 を $a_2 \times d_2$ としたとき、 $c_1 = 0.38$ 、 $a_0 = 2.0$ 、 $a_1 = 2.0$ 、及び $a_2 = 2.0$ とし、酸化タンタル及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.52568$ 、 $\phi_2 = 0.963283$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ で無反射とすることができる。

【0119】

またこのとき、各層の膜厚は、 $D_0 / D_1 / D_2 / D_3 / D_4 / D_5 / D_6 = 35.24 / 79.72 / 185.49 / 79.72 / 185.49 / 79.72 / 185.49 \text{ nm}$ となり、トータル膜厚 ($n_2 \times D_0 + n_1 \times D_1 + n_2 \times D_2 + n_1 \times D_3 + n_2 \times D_4 + n_1 \times D_5 + n_2 \times D_6$) は 1450.50 nm である。これは $\lambda_0 / 4$ 膜厚 245 nm の約 5.9 倍と非常に厚くなっている。

図 43 はこの発明の一実施例 22 に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図 43 から分かるように、反射率の波長依存性は U 字状をしたバスタブ形状に近く反射率が 1 % 以下の波長領域幅は 150 nm と広がっている。

【0120】

実施例 23

実施例 22 の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980 \text{ nm}$ を反射率が 1 % である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜 14 の構成は実施例 22 と同じにして、 $c_1 = 0.38$ 、 $a_0 = 2.0$ 、 $a_1 = 2.0$ 、及び $a_2 = 2.0$ とし、酸化タンタル及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.52568$ 、 $\phi_2 = 0.963283$ とし、波長 $\lambda = 956 \text{ nm}$ で無反射とすればよい。

なおこのとき、各層の膜厚は、 $D_0 / D_1 / D_2 / D_3 / D_4 / D_5 / D_6 = 34.38 / 77.77 / 180.95 / 77.77 / 180.95 / 77.77 / 180.95 \text{ nm}$

10

20

30

40

50

mである。

図44はこの発明の一実施例23に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図44において、反射率が1%以下の波長領域幅は146nmである。

【0121】

実施例24

この実施例24は図42に示された9層膜の構成である。

図42において、半導体レーザ素子12の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、予備層コーティング膜112、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b、第6層コーティング膜32b、及び第8層コーティング膜102bを、屈折率が $n_2 = 1.62$ のアルミナ(A12O3)で形成する。

第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、第5層コーティング膜32a、及び第7層コーティング膜102aを屈折率が $n_1 = 2.057$ の酸化タンタル(Ta2O5)で形成する。

【0122】

予備層コーティング膜112の膜厚D0を $c_1 \times d_2$ 、第1層コーティング膜22aの膜厚D1を $a_0 \times d_1$ 、第2層コーティング膜22bの膜厚D2を $a_0 \times d_2$ 、第3層コーティング膜24aの膜厚D3を $a_1 \times d_1$ 、第4層コーティング膜24bの膜厚D4を $a_1 \times d_2$ 、第5層コーティング膜32aの膜厚D5を $a_2 \times d_1$ 、第6層コーティング膜32bの膜厚D6を $a_2 \times d_2$ 、第7層コーティング膜102aの膜厚D7を $a_3 \times d_1$ 、第8層コーティング膜102bの膜厚D8を $a_3 \times d_2$ としたとき、 $c_1 = 0.58$ 、 $a_0 = 2.0$ 、 $a_1 = 2.0$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $a_3 = 2.0$ とし、酸化タンタル及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.382042$ 、 $\phi_2 = 1.05165$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ で無反射とすることができる。

【0123】

またこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6/D_7/D_8 = 58.73/57.94/202.50/57.94/202.50/57.94/202.50/57.94/202.50\text{nm}$ となり、トータル膜厚($n_2 \times D_0 + n_1 \times D_1 + n_2 \times D_2 + n_1 \times D_3 + n_2 \times D_4 + n_1 \times D_5 + n_2 \times D_6 + n_1 \times D_7 + n_2 \times D_8$)は1884.06nmである。これは $\lambda_0/4$ 膜厚245nmの約7.7倍と非常に厚くなっている。

図45はこの発明の一実施例24に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図45から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域幅は100nmと広がっている。

【0124】

実施例25

実施例24の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ を反射率が1%である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜14の構成は実施例24と同じにして、 $c_1 = 0.58$ 、 $a_0 = 2.0$ 、 $a_1 = 2.0$ 、 $a_2 = 2.0$ 及び $a_3 = 2.0$ とし、酸化タンタル及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.382042$ 、 $\phi_2 = 1.05165$ であるとき、波長 $\lambda = 978\text{nm}$ で無反射とすればよい。なおこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6/D_7/D_8 = 58.61/57.82/202.09/57.82/202.09/57.82/202.09/57.82/202.09\text{nm}$ である。

図46はこの発明の一実施例25に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図46において、反射率が1%以下の波長領域幅は100nmである。

10

20

30

40

50

【0125】

実施例26

この実施例26は図41に示された7層膜の構成である。

図41において、半導体レーザ素子12の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、予備層コーティング膜112、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bを、屈折率が $n_2 = 1.62$ のアルミナ(Al_2O_3)で形成する。

第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、及び第5層コーティング膜32aを屈折率が $n_1 = 2.954$ のシリコン(Si)で形成する。この実施例26では、 $c_1 = 0.75$ 、 $a_0 = 1.98$ 、 $a_1 = 2.0$ 、及び $a_2 = 2.0$ とし、シリコン及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.182114$ 、 $\phi_2 = 1.08902$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980\text{ nm}$ で無反射とすることができる。

【0126】

またこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6 = 78.64/19.04/207.60/19.23/209.70/19.23/209.70\text{ nm}$ となり、トータル膜厚は 1312.99 nm である。これは $\lambda_0/4$ 膜厚 245 nm の約5.4倍と非常に厚くなっている。

図47はこの発明の一実施例26に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図47から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域幅は 140 nm と広がっている。

【0127】

実施例27

実施例26の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980\text{ nm}$ を反射率が1%である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜14の構成は実施例26と同じにして、 $c_1 = 0.75$ 、 $a_0 = 1.98$ 、 $a_1 = 2.0$ 、及び $a_2 = 2.0$ とし、シリコン及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.182114$ 、 $\phi_2 = 1.08902$ であるとき、波長 $\lambda = 1002\text{ nm}$ で無反射とすればよい。

なおこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6 = 80.40/19.47/212.26/19.66/214.41/19.66/214.41\text{ nm}$ である。

図48はこの発明の一実施例27に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図48において、反射率が1%以下の波長領域幅は 143 nm である。

【0128】

実施例28

この実施例28は図41に示された7層膜の構成である。

図41において、半導体レーザ素子12の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、予備層コーティング膜112、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bを、屈折率が $n_2 = 1.45$ の石英(SiO_2)で形成する。

第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、及び第5層コーティング膜32aを屈折率が $n_1 = 2.057$ の酸化タンタル(Ta_2O_5)で形成する。

この実施例28では、 $c_1 = 0.2$ 、 $a_0 = 2.7$ 、 $a_1 = 2.0$ 、及び $a_2 = 2.0$ とし、酸化タンタル及び石英それぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.302025$ 、 $\phi_2 = 1.0705$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980\text{ nm}$ で無反射とすることができる。

【0129】

またこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6 = 23.03/61.83/310.91/45.80/230.30/45.80/230.30\text{ nm}$

10

20

30

40

50

mとなり、トータル膜厚は1437.69nmである。これは $\lambda_0/4$ 膜厚245nmの約5.9倍と非常に厚くなっている。

図49はこの発明の一実施例28に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図49から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域幅は134nmと広がっている。

【0130】

実施例29

実施例28の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ を反射率が1%である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜14の構成は実施例28と同じにして、 $c_1 = 0.2$ 、 $a_0 = 2.7$ 、 $a_1 = 2.0$ 、及び $a_2 = 2.0$ とし、酸化タンタル及び石英それぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.302025$ 、 $\phi_2 = 1.0705$ であるとき、波長 $\lambda = 966\text{nm}$ で無反射とすればよい。

なおこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6 = 22.70/60.95/306.46/45.15/227.01/45.15/227.01\text{nm}$ である。

図50はこの発明の一実施例29に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図50において、反射率が1%以下の波長領域幅は133nmである。

【0131】

実施例30

この実施例30は図41に示された7層膜の構成である。

図41において、半導体レーザ素子12の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、予備層コーティング膜112、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bを、屈折率が $n_2 = 1.45$ の石英(SiO_2)で形成する。

第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、及び第5層コーティング膜32aを屈折率が $n_1 = 2.954$ のシリコン(Si)で形成する。この実施例30では、 $c_1 = 0.5$ 、 $a_0 = 2.5$ 、 $a_1 = 2.0$ 、及び $a_2 = 2.0$ とし、シリコン及び石英それぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.131051$ 、 $\phi_2 = 1.16158$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ で無反射とすることができる。

【0132】

またこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6 = 62.47/17.30/312.37/13.84/249.90/13.84/249.90\text{nm}$ となり、トータル膜厚は1401.10nmである。これは $\lambda_0/4$ 膜厚245nmの約5.7倍と非常に厚くなっている。

図51はこの発明の一実施例30に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図51から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域幅は134nmと広がっている。

【0133】

実施例31

実施例30の半導体レーザをファイバグレーティングと組み合わせる場合には、半導体レーザの光の波長 λ_0 をバスタブ形状をした反射率分布の中心にすることが望ましい。

この場合、 $\lambda_0 = 980\text{nm}$ を反射率が1%である波長領域幅の中心波長とするためには、低反射コーティング膜14の構成は実施例30と同じにして、 $c_1 = 0.5$ 、 $a_0 = 2.5$ 、 $a_1 = 2.0$ 、及び $a_2 = 2.0$ とし、シリコン及び石英それぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.131051$ 、 $\phi_2 = 1.16158$ であるとき、波長 $\lambda = 969\text{nm}$ で無反射とすればよい。

10

20

30

40

50

なおこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6 = 61.77/17.10/308.86/13.68/247.09/13.68/247.09$ nmである。

図52はこの発明の一実施例31に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図52において、反射率が1%以下の波長領域幅は132 nmである。

【0134】

実施の形態11.

この実施の形態11は、実施の形態6をさらに発展させたものである。

この実施の形態11に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザの活性層から決まる発振波長よりも無反射となる波長を長波長側にした構成を有する。すなわち半導体レーザの共振器の出射端面に被覆膜を設けて反射率が所定の波長 λ_0 に対応して極小値を有するようにし、半導体レーザの利得が最大になる波長を被覆膜層の反射率が極小となる波長よりも短波長側に設定することにより、波長が長くなるにつれて端面の反射率が低くなる領域において、半導体レーザの総損失と半導体レーザの利得とが等しくしたものである。

そしてこの半導体レーザ装置の被覆膜の構成を、実施の形態10において提示した構成にしている。すなわちこの実施の形態11の半導体レーザ装置の構成は、図41に示した7層構成の低反射コーティング膜14を有する半導体レーザ装置110あるいは図42に示した9層構成の低反射コーティング膜14を有する半導体レーザ装置120の構成をしている。

【0135】

実施例32

この実施例32は図41に示された7層膜の構成である。

図41において、半導体レーザ素子12の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、予備層コーティング膜112、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bを、屈折率が $n_2 = 1.63$ のアルミナ(Al_2O_3)で形成する。

第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、及び第5層コーティング膜32aを屈折率が $n_1 = 2.00$ の酸化タンタル(Ta_2O_5)で形成する。

【0136】

予備層コーティング膜112の膜厚 D_0 を $c_1 \times d_2$ 、第1層コーティング膜22aの膜厚 D_1 を $a_0 \times d_1$ 、第2層コーティング膜22bの膜厚 D_2 を $a_0 \times d_2$ 、第3層コーティング膜24aの膜厚 D_3 を $a_1 \times d_1$ 、第4層コーティング膜24bの膜厚 D_4 を $a_1 \times d_2$ 、第5層コーティング膜32aの膜厚 D_5 を $a_2 \times d_1$ 、第6層コーティング膜32bの膜厚 D_6 を $a_2 \times d_2$ としたとき、 $c_1 = 0.30$ 、 $a_0 = 1.75$ 、 $a_1 = 2.00$ 、及び $a_2 = 2.00$ とし、酸化タンタル及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.788239$ 、 $\phi_2 = 0.826943$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 1000$ nmで無反射とすることができる。

【0137】

またこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6 = 24.22/109.77/141.30/125.45/161.49/125.45/161.49$ nmとなり、トータル膜厚($n_2 \times D_0 + n_1 \times D_1 + n_2 \times D_2 + n_1 \times D_3 + n_2 \times D_4 + n_1 \times D_5 + n_2 \times D_6$)は1517.60 nmである。これは $\lambda_0/4$ 膜厚250 nmの約6.1倍と非常に厚くなっている。

図56はこの発明の一実施例32に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図56から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域は954 nmから1114 nmに亘っており、反射率が1%以下の波長領域の中心波長は1034 nmである。したがって無反射となる波長1000 nmは反射率が1%以下の波長領域の中心波長の短波長側に存在する。

10

20

30

40

50

【0138】

このように無反射となる波長が、反射率が1%以下の波長領域の中心波長よりも短波長側に存在する場合には、長波長側に存在する場合よりも、低反射コーティング膜14を構成する材料の屈折率や膜厚などが設計値から多少ばらついたとしても、低反射コーティング膜14の反射率の設計値からの偏差への影響が少なくなる。このために低反射コーティング膜14の材料選定、装着など実際的な製造が行いやすくなる。これは以下に述べる実施例33及び実施例34においても同様である。

【0139】

実施例33

この実施例33も図41に示された7層膜の構成である。

図41において、半導体レーザ素子12の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、予備層コーティング膜112、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b及び第6層コーティング膜32bを、屈折率が $n_2 = 1.63$ のアルミナ(Al_2O_3)で形成する

第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、及び第5層コーティング膜32aを屈折率が $n_1 = 2.00$ の酸化タンタル(Ta_2O_5)で形成する。

予備層コーティング膜112の膜厚 D_0 を $c_1 \times d_2$ 、第1層コーティング膜22aの膜厚 D_1 を $a_0 \times d_1$ 、第2層コーティング膜22bの膜厚 D_2 を $a_0 \times d_2$ 、第3層コーティング膜24aの膜厚 D_3 を $a_1 \times d_1$ 、第4層コーティング膜24bの膜厚 D_4 を $a_1 \times d_2$ 、第5層コーティング膜32aの膜厚 D_5 を $a_2 \times d_1$ 、第6層コーティング膜32bの膜厚 D_6 を $a_2 \times d_2$ としたとき、 $c_1 = 0.20$ 、 $a_0 = 1.80$ 、 $a_1 = 2.10$ 、及び $a_2 = 2.00$ とし、酸化タンタル及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.800845$ 、 $\phi_2 = 0.785781$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 1000\text{ nm}$ で無反射とすることができる。

【0140】

またこのとき、各層の膜厚は、 $D_0/D_1/D_2/D_3/D_4/D_5/D_6 = 15.34/114.71/138.10/133.83/161.12/127.46/153.45\text{ nm}$ となり、トータル膜厚($n_2 \times D_0 + n_1 \times D_1 + n_2 \times D_2 + n_1 \times D_3 + n_2 \times D_4 + n_1 \times D_5 + n_2 \times D_6$)は 1514.85 nm である。これは $\lambda_0/4$ 膜厚 250 nm の約6.1倍と非常に厚くなっている。

図57はこの発明の一実施例33に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図57から分かるように、反射率の波長依存性はU字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域は 944 nm から 1098 nm に亘っており、反射率が1%以下の波長領域の中心波長は 1021 nm である。したがって無反射となる波長 1000 nm は反射率が1%以下の波長領域の中心波長の短波長側に存在する。

【0141】

実施例34

この実施例34は図42に示された9層膜の構成である。

図42において、半導体レーザ素子12の等価屈折率 $n_c = 3.37$ とし、予備層コーティング膜112、第2層コーティング膜22b、第4層コーティング膜24b、第6層コーティング膜32b、及び第8層コーティング膜102bを、屈折率が $n_2 = 1.63$ のアルミナ(Al_2O_3)で形成する。

第1層コーティング膜22a、第3層コーティング膜24a、第5層コーティング膜32a、及び第7層コーティング膜102aを屈折率が $n_1 = 2.00$ の酸化タンタル(Ta_2O_5)で形成する。

【0142】

予備層コーティング膜112の膜厚 D_0 を $c_1 \times d_2$ 、第1層コーティング膜22aの膜厚 D_1 を $a_0 \times d_1$ 、第2層コーティング膜22bの膜厚 D_2 を $a_0 \times d_2$ 、第3層コーティング膜24aの膜厚 D_3 を $a_1 \times d_1$ 、第4層コーティング膜24bの膜厚 D_4 を $a_1 \times d_2$ 、第5層コーティング膜32aの膜厚 D_5 を $a_2 \times d_1$ 、第6層コーティング膜32bの膜厚 D_6 を $a_2 \times d_2$ 、第7層コーティング膜102aの膜厚 D_7 を $a_3 \times d_1$ 、第8層コーティング膜102bの膜厚 D_8 を $a_3 \times d_2$ としたとき、 $c_1 = 0.20$ 、 $a_0 = 1.80$ 、 $a_1 = 2.10$ 、 $a_2 = 2.00$ 、 $a_3 = 2.00$ とし、酸化タンタル及びアルミナそれぞれの位相変化 ϕ_1 、 ϕ_2 が、 $\phi_1 = 0.800845$ 、 $\phi_2 = 0.785781$ であるとき、波長 $\lambda_0 = 1000\text{ nm}$ で無反射とすることができる。

1×d2、第5層コーティング膜32aの膜厚D5をa2×d1、第6層コーティング膜32bの膜厚D6をa2×d2、第7層コーティング膜102aの膜厚D7をa3×d1、第8層コーティング膜102bの膜厚D8をa3×d2としたとき、c1=0.58、a0=1.95、a1=2.00、a2=2.00及びa3=2.00とし、酸化タンタル及びアルミナそれぞれの位相変化φ1、φ2が、φ1=0.40465、φ2=1.12054であるとき、波長λ0=1000nmで無反射とすることができる。

【0143】

またこのとき、各層の膜厚は、D0/D1/D2/D3/D4/D5/D6/D7/D8=63.46/62.79/213.35/64.40/218.82/64.40/218.82/64.40/218.82nmとなり、トータル膜厚(n2×D0+n1×D1+n2×D2+n1×D3+n2×D4+n1×D5+n2×D6+n1×D7+n2×D8)は2033.22nmである。これはλ0/4膜厚250nmの約8.1倍と非常に厚くなっている。

10

図58はこの発明の一実施例34に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

図58から分かるように、反射率の波長依存性はW字状をしたバスタブ形状に近く反射率が1%以下の波長領域は979nmから1121nmに亘っており、反射率が1%以下の波長領域の中心波長は1050nmである。したがって無反射となる波長1000nmは反射率が1%以下の波長領域の中心波長の短波長側に存在する。

【0144】

20

実施例32、33及び34は実施の形態10に示した低反射コーティング膜14を有する半導体レーザ装置の構成であるが、半導体レーザ装置の低反射コーティング膜の構成が必ずしも実施の形態10の低反射コーティング膜の構成でなくとも良く、実施の形態1、2、および9において述べた低反射コーティング膜を使用しても良いし、また1層の低反射コーティング膜を使用しても良い。

図59はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザの一例の利得分布を示すグラフである。

この図59に示されている半導体レーザ12の利得が最大になる波長、つまり利得ピーク波長は約972nmである。

なお、この利得分布を示すグラフは端面の低反射コーティング膜14を設ける前のものであり、後に述べる従来の半導体レーザ装置においても同様の利得分布を示していると考えることができる。

30

【0145】

この半導体レーザ12の利得ピーク波長を、低反射コーティング膜14が形成された出射端面における反射率が無反射となる波長1000nmより、常に短波長側になるように設定する。これにより波長が長くなるにつれて半導体レーザ装置の損失が増大する波長領域において、半導体レーザ12の利得と半導体レーザ装置の損失とを等しくすることが出来る。その結果、周囲温度及び注入電流が変化した場合における半導体レーザ装置の発振波長の変化を小さくすることができる。

図60はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の損失と利得との関係を示す模式図である。

40

図60において、実線a1はこの発明に係る半導体レーザ装置のトータル損失を、実線b1、b2はこの発明に係る半導体レーザ装置の利得を示す。またS1は低温における総利得、Shは高温における総利得であり、それぞれ注入電流に比例する値である。

【0146】

なお、比較のために従来の980nm帯の半導体レーザ装置について、トータル損失を破線a10により、利得を破線b10、b20により示す。またS10は従来の半導体レーザ装置についての低温における総利得、Sh0は従来の半導体レーザ装置についての高温における総利得であり、それぞれ注入電流に比例する値である。

従来の半導体レーザ装置においては、トータル損失である破線a10は波長の変化にほと

50

んど依存しない。低温時に利得とトータル損失が等しくなるのはA点であるため波長 λ_{10} で発振する。高温時にはバンドギャップの収縮により長波長から利得が発生し、このため利得と損失が等しくなるのはB点となり、波長 λ_{h0} で発振する。したがって発振波長差は $\lambda_{h0} - \lambda_{10}$ である。

一方、この実施の形態に係る半導体レーザ装置においては、ミラー損失に波長依存性があり、しかも実線a1で示されるように波長が長くなるにつれてトータル損失が増加する。このためにC点で示されるように低温時には小さな利得で損失と等しくなり、波長 λ_1 で発振する。高温時は逆に大きな利得を必要とし、D点で示される λ_h で発振することになる。したがって発振波長差は $\lambda_h - \lambda_1$ である。

ここで図60から明らかなように、 $\lambda_h - \lambda_1 < \lambda_{h0} - \lambda_{10}$ である。

10

【0147】

従来の半導体レーザ装置における高温時と低温時の利得の差は $S_{h0} - S_{10}$ であり、この実施の形態に係る半導体レーザ装置における高温時と低温時の利得の差は $S_h - S_1$ である。そして $S_h - S_1 > S_{h0} - S_{10}$ である。

したがって、温度変化または注入電流変化に対する波長変化を、従来の半導体レーザ装置とこの実施の形態に係る半導体レーザ装置とにおいて比較すると、

$$(\lambda_h - \lambda_1) / (S_h - S_1) < (\lambda_{h0} - \lambda_{10}) / (S_{h0} - S_{10})$$

となり、この実施の形態に係る半導体レーザ装置の温度変化及び注入電流変化に対する波長変化は従来の半導体レーザ装置のそれに比べて極端に小さくすることができる。

【0148】

20

図61はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の反射率の波長依存性とミラー損失の波長依存性を示すグラフである。

図61において比較のために従来の半導体レーザ装置の反射率の波長依存性とミラー損失の波長依存性を示している。

図61におけるA群の曲線はミラー損失の値で、実線a1はこの実施の形態に係る半導体レーザ装置のミラー損失の波長依存性を、また破線a2は従来の半導体レーザ装置のミラー損失の波長依存性を示している。

またB群の曲線は反射率の値で、実線b1はこの実施の形態に係る半導体レーザ装置の反射率の波長依存性を、また破線b2は従来の半導体レーザ装置の反射率の波長依存性を示している。

30

図61に示されるように、従来の半導体レーザ装置のミラー損失の値および反射率の値は、それほど波長に依存しないものになっている。

【0149】

一方、この実施の形態に係る半導体レーザ装置においては、波長が長くなるにつれて、反射率の値は小さくなり、逆にミラー損失の値は大きくなっている。

図61に示されたこの実施の形態に係る半導体レーザ装置の、波長変化に対するミラー損失の変化 $\Delta\alpha / \Delta\lambda$ は約 $0.18 \text{ cm}^{-1} / \text{nm}$ である。

図62はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置における発振波長の温度及び注入電流に対する依存性を示すグラフである。

温度は5℃から85℃まで10段階変化させ、注入電流は100mAから600mAまで変化させ、50mA間隔で測定している。

40

図62においては、温度が5℃、注入電流が100mAの場合から温度が85℃、600mAの場合までの間の発振波長の変化 $\Delta\lambda_L$ は11.2nmである。図63は従来の半導体レーザ装置における発振波長の温度及び注入電流に対する依存性を示すグラフである。この実施の形態に係る半導体レーザ装置の発振波長の、温度及び注入電流に対する依存性と比較のために示している。

【0150】

測定方法はこの実施の形態に係る半導体レーザ装置の場合と同じである。

図63においては、温度が5℃、注入電流が100mAの場合から温度が85℃、600mAの場合までの間の発振波長の変化 $\Delta\lambda_L$ は33.5nmである。図62と図63との

50

比較からこの実施の形態に係る半導体レーザ装置では従来の半導体レーザ装置に比べて温度及び注入電流に対する発振波長の変化はおおよそ $1/3$ 程度となっている。

【0151】

図64はこの発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置における光出力－電流特性（以下、P－I特性、という。）の温度依存性を示すグラフである。

P－I特性の測定は温度25℃から85℃まで10段階で変化させて連続動作（CW）で行われた。

図65は従来の半導体レーザ装置におけるP－I特性の温度依存性を示すグラフである。従来の従来の半導体レーザ装置におけるP－I特性の測定も、この実施の形態に係る半導体レーザ装置の場合と同様に実施されている。

この実施の形態の半導体レーザ装置におけるP－I特性と半導体レーザ装置におけるP－I特性を比較すると、この実施の形態の半導体レーザ装置においては従来の半導体レーザ装置よりもP－I特性の曲線群が粗に分散しているおり、しきい値電流の変化が大きい。

【0152】

図64及び図65のP－I特性ならびに、図62及び図63の発振波長の温度及び注入電流に対する依存性から勘案すると、この実施の形態の半導体レーザ装置においては、バンドフィルタリング効果によりしきい値電流変化が大きくなる代わりに発振波長変化が抑制されていることになる。

図66はこの発明の実施の形態に係る半導体レーザ装置において反射率を指標とした場合の波長変化抑制効果を示すグラフである。

この実施の形態に係る半導体レーザ装置において、種々の利得ピーク波長を有する半導体レーザと低反射コーティング膜とを有する半導体レーザ装置に対して各々発振波長変化が抑制されているが、図66においては従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下になる出射端面の反射率を一つの指標として発振波長変化の効果を判定している。

【0153】

図66において、○印のものが従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下になったもので、□印のものは従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下にならなかったものである。したがって半導体レーザ装置の出射端面の反射率がおおよそ4%以下になると、従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下になっている。図66の破線が反射率4%の境界線で、矢印が望ましい領域を示している。

【0154】

図67はこの発明の実施の形態に係る半導体レーザ装置において波長変化に対するミラー損失変化を指標とした場合の波長変化抑制効果を示すグラフである。図67においては、利得ピーク波長近傍における波長変化に対するミラー損失変化 $\Delta\alpha/\Delta\lambda$ を一つの指標として、従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下になる場合の $\Delta\alpha/\Delta\lambda$ により発振波長変化の効果を判定している。

図67の○印のものが従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下になったもので、□印のものは従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下にならなかったものである。したがって半導体レーザ装置の波長変化に対するミラー損失変化 $\Delta\alpha/\Delta\lambda$ が $0.13\text{ cm}^{-1}/\text{nm}$ 以上になると、従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下になっている。

【0155】

以上述べたように、この実施の形態においては、半導体レーザの共振器の出射端面に被覆膜を設けて反射率が所定の波長 λ_0 に対応して極小値を有するようにし、半導体レーザの利得が最大になる波長が被覆膜層の反射率が極小となる波長よりも短波長側に設定することにより、波長が長くなるにつれて反射率が低くなる領域において、半導体レーザの総損失と半導体レーザの利得とを等しくすることにより、周囲温度及び注入電流が変化した場合における半導体レーザ装置の発振波長の変化を小さくすることができる。

さらに、出射端面の反射率をおおよそ4%以下にし、かつ利得波長近傍の波長変化に対す

10

20

30

40

50

るミラー損失変化 $\Delta \alpha / \Delta \lambda$ を $0.13 \text{ cm}^{-1} / \text{nm}$ 以上により従来の半導体レーザ装置に比べて発振波長変化が $1/2$ 以下になり、顕著な発振波長変化の抑制効果を有する半導体レーザ装置を構成することができる。

【0156】

以上述べた実施の形態においては、9層の低反射コーティング膜まで記載したが、さらに多層の膜構成でも良い。

またパラメータ a_k 、 b_1 、 c_1 はここに記載したものに限定するものではない。

また各実施の形態の光半導体装置の伝播する光を、 980 nm 近傍の光を例として、記述しているが、この波長に限らず、他の波長の可視光、赤外線、遠赤外線にも実施することができる。

また、ここでは例として半導体レーザ装置を例として説明したが、他の光半導体装置、例えば半導体光増幅器 (SOA)、スーパールミネセントダイオード (SLD)、光変調器などに適用できることはいうまでもない。

【0157】

【発明の効果】

この発明に係る光半導体装置は以上に説明したような構成を備えているので、以下のような効果を有する。

この発明に係る光半導体装置においては、光を入射または出射する端面を有し、等価屈折率 n_c を有する光半導体素子と、この光半導体素子の端面上に配設され、屈折率が n_1 で係数 a_0 を正の実数としたときに、膜厚が $a_0 \times d_1$ である第1の被覆膜とこの第1の被覆膜上に配設された屈折率が n_2 で膜厚が $a_0 \times d_2$ の第2の被覆膜とを有する被覆膜層と、を備え、被覆膜層の表面上の自由空間の屈折率を n_0 としたときに、光半導体素子を伝播する光の波長 λ_0 に対して、この波長 λ_0 、屈折率 n_1 、 n_2 、膜厚 $a_0 \times d_1$ 、 $a_0 \times d_2$ により規定される振幅反射率の実部及び虚部がゼロとなるとともに n_1 、 n_2 のいずれか一方のみが n_c と n_0 との積の平方根より小さいもので、この構成により、波長 λ_0 に対して理想的単層膜の置き換えとは異なる低反射被覆膜層を配設することができる。このため低反射被覆膜層の材料選定の自由度を高めることができる。延いては所望の低反射被覆膜層を備えた光半導体装置を簡単に構成することができる。

【0158】

(また、この発明に係る光半導体装置は、半導体レーザを有し、この半導体レーザの端面に低反射被覆膜を有し、この低反射被覆膜の反射率が所定の波長 λ_0 に対応して極小値を有し、この低反射被覆膜の屈折率と膜厚との積の和が半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 の $1/4$ を越え、かつ半導体レーザの所定のレーザ光の波長 λ_0 近傍における波長領域であって低反射被覆膜の反射率が 1% 以下となる波長領域幅を 55 nm 以上としたもので、放熱性がよく、周囲温度や注入電流を変えても発振波長変化の少ない半導体レーザを備えた光半導体装置を構成することができる。延いては発振波長の安定した半導体レーザを備えた光半導体装置を簡単に構成することができる。)

【0159】

(また、この発明に係る光半導体装置は、半導体レーザを有し、この半導体レーザの共振器端面の一方の反射率が所定の波長 λ_0 に対應對して極小値を有し、波長が長くなるにつれて反射率が低くなる領域において、半導体レーザの総損失と半導体レーザの利得とを等しくしたもので、周囲温度や注入電流を変えても発振波長変化の少ない半導体レーザを構成することができる。延いては発振波長の安定した半導体レーザを簡単に構成することができる。)

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の一つの実施の形態に係る半導体レーザの模式図である。

【図2】 この発明の一つの実施の形態に係る半導体レーザの模式図である

【図3】 この発明に係る一実施例の反射率の計算結果を示すグラフである。

【図4】 この発明の一つの実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

【図5】 この発明の一つの実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

- 【図 6】この発明の一実施例の反射率の計算結果を示すグラフである。
- 【図 7】この発明の一実施例の反射率の計算結果を示すグラフである。
- 【図 8】この発明に係る半導体レーザ装置の低反射コーティング膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。
- 【図 9】この発明に係る半導体レーザ装置のトータル損失の波長依存性を示すグラフである。
- 【図 10】この発明に係る半導体レーザ装置のトータル損失と利得の波長依存性を示すグラフである。
- 【図 11】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザの断面図である。
- 【図 12】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザの低反射コーティング膜の反射率を示すグラフである。 10
- 【図 13】この実施の形態に係る半導体レーザ装置の発振波長の注入電流依存性の実験結果を示すグラフである。
- 【図 14】この発明の一実施例の反射率を示すグラフである。
- 【図 15】共振器長の相違による半導体レーザのトータル損失を比較したグラフである。
- 【図 16】この発明の一実施例の半導体レーザにおける発振波長の実験結果を示すグラフである。
- 【図 17】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置のトータル損失と利得との関係を示すグラフである。
- 【図 18】この発明の一実施例における発振波長の電流依存性の実験結果を示すグラフである。 20
- 【図 19】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザにおける反射率の波長依存性を示したグラフである。
- 【図 20】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザの発振波長の電流依存性の実験結果を示すグラフである。
- 【図 21】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置における発信波長の動作電流依存性を示す実験結果のグラフである。
- 【図 22】半導体レーザの反射率に波長依存性がない場合の損失と利得の関係を示す模式図である。
- 【図 23】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザの損失と利得の関係を示す模式図である。 30
- 【図 24】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式断面図である。
- 【図 25】従来のファイバグレーティングを有する半導体レーザ装置の利得と損失とを示すグラフである。
- 【図 26】従来のファイバグレーティングを有する半導体レーザ装置の利得と損失とを示すグラフである。
- 【図 27】この発明の一実施の形態に係るファイバグレーティングを有する半導体レーザ装置の利得と損失とを示すグラフである。
- 【図 28】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の反射率の波長依存性を示すグラフである。 40
- 【図 29】この発明の一実施例のファイバグレーティングを伴う半導体レーザ装置の損失と利得を示すグラフである。
- 【図 30】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。
- 【図 31】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。
- 【図 32】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。
- 【図 33】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。
- 【図 34】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を 50

示すグラフである。

【図 3 5】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 6】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 7】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 8】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 9】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。 10

【図 4 0】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 1】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

【図 4 2】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の模式図である。

【図 4 3】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 4】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 5】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。 20

【図 4 6】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 7】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 8】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 9】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 5 0】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。 30

【図 5 1】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 5 2】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 5 3】従来の半導体レーザの波長の出力依存性を示す模式図である。

【図 5 4】従来の半導体レーザの無反射膜の構成を示す模式図である。

【図 5 5】従来の無反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 5 6】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。 40

【図 5 7】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 5 8】この発明の一実施例に係る半導体レーザの端面における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 5 9】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザの一例の利得分布を示すグラフである。

【図 6 0】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の損失と利得との関係を示す模式図である。

【図 6 1】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置の反射率の波長依存性とミラー損失の波長依存性を示すグラフである。

【図 6 2】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置における発振波長の温度及び注入電流に対する依存性を示すグラフである。

【図 6 3】従来の半導体レーザ装置における発振波長の温度及び注入電流に対する依存性を示すグラフである。

【図 6 4】この発明の一実施の形態に係る半導体レーザ装置における光出力ー電流特性の温度依存性を示すグラフである。

【図 6 5】従来の半導体レーザ装置における光出力ー電流特性の温度依存性を示すグラフである。

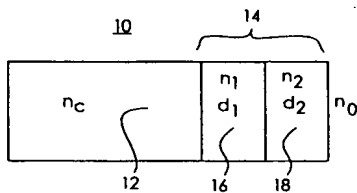
【図 6 6】この発明の実施の形態に係る半導体レーザ装置において反射率を指標とした場合の波長変化抑制効果を示すグラフである。

【図 6 7】この発明の実施の形態に係る半導体レーザ装置において波長変化に対するミラー損失変化を指標とした場合の波長変化抑制効果を示すグラフである。

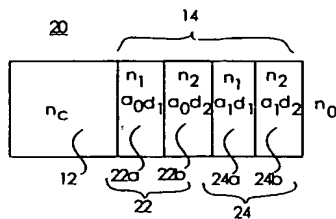
【符号の説明】

1 2 半導体レーザ素子、 1 6、2 2 a 第 1 層コーティング膜、 1 8、2 2 b 第 2 層コーティング膜、 1 4 低反射コーティング膜、 2 4 a 第 3 層コーティング膜、 3 2 a 第 5 層コーティング膜、 1 0 2 a 第 7 層コーティング膜、 2 4 b 第 4 層コーティング膜、 3 2 b 第 6 層コーティング膜、 1 0 2 b 第 8 層コーティング膜、 2 4 第 1 コーティング膜対、 3 2 第 2 コーティング膜対、 1 0 2 第 3 コーティング膜対、 3 8 表面層コーティング膜、 9 4 ファイバグレーティング、 1 1 2 予備層コーティング膜。

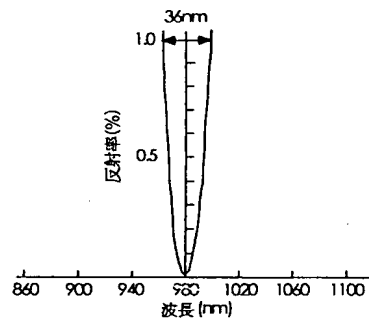
【図 1】



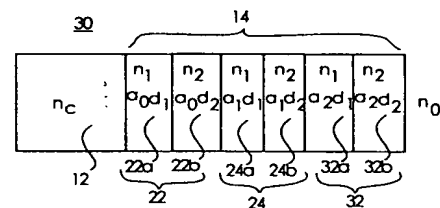
【図 2】



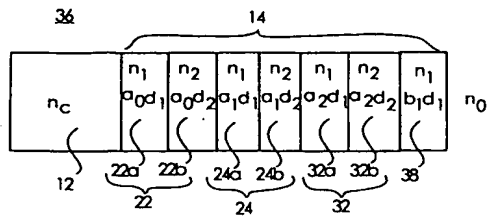
【図 3】



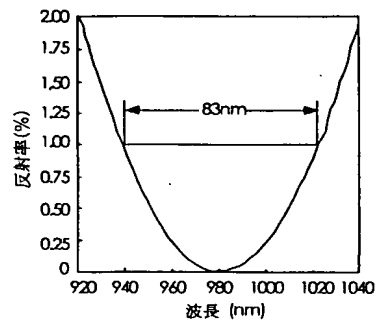
【図 4】



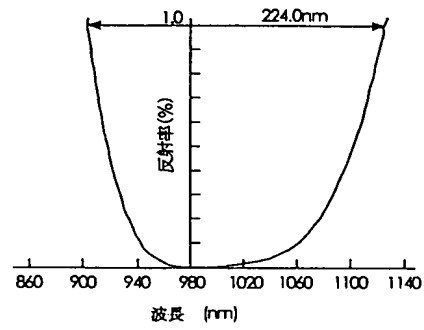
【図 5】



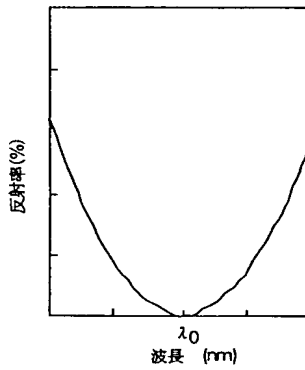
【図 6】



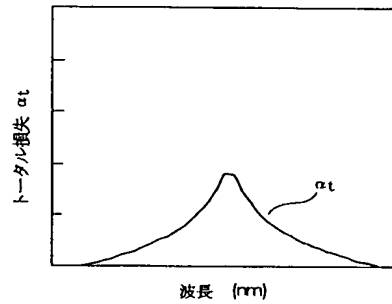
【図 7】



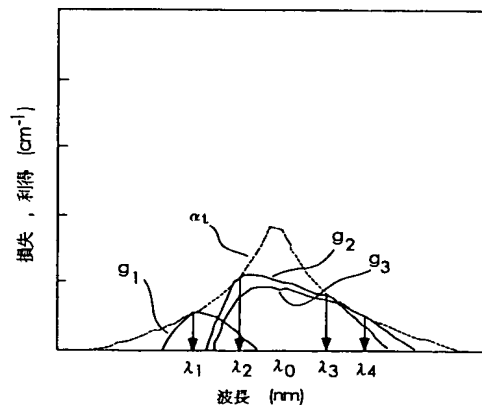
【図 8】



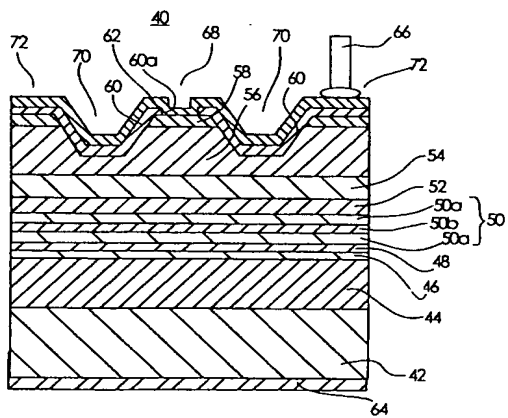
【図 9】



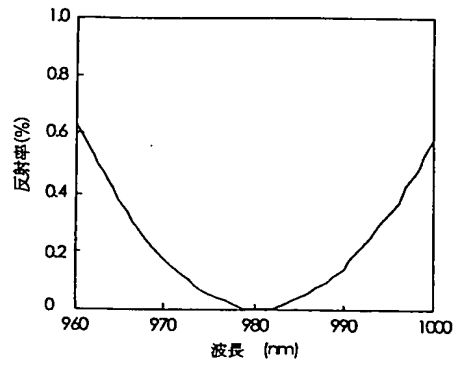
【図 10】



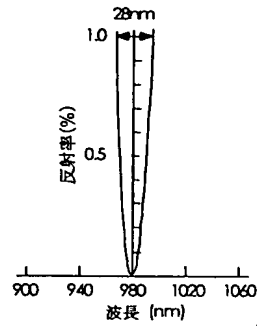
【図 11】



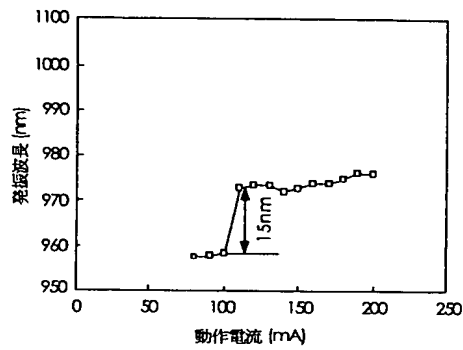
【図 1 2】



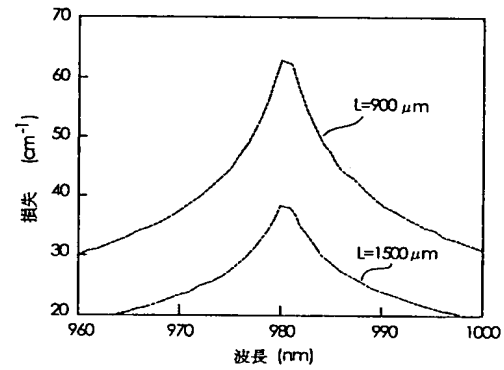
【図 1 4】



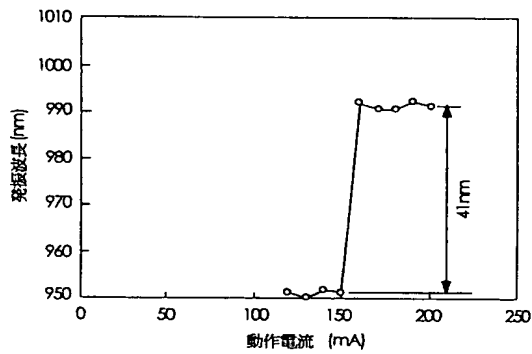
【図 1 3】



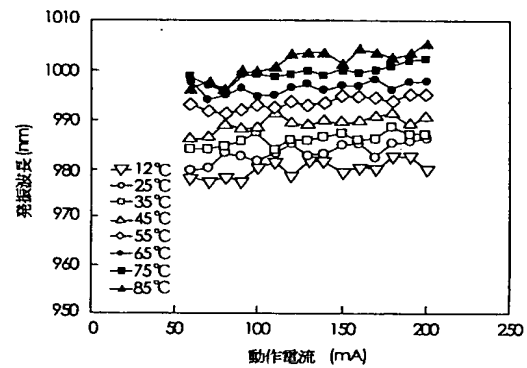
【図 1 5】



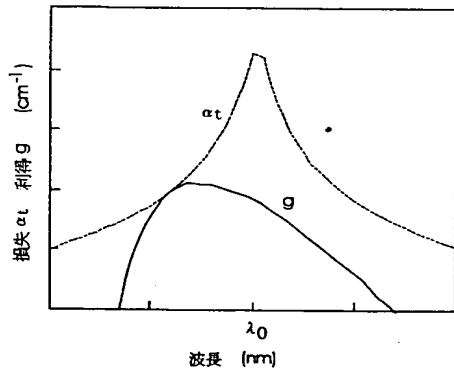
【図 1 6】



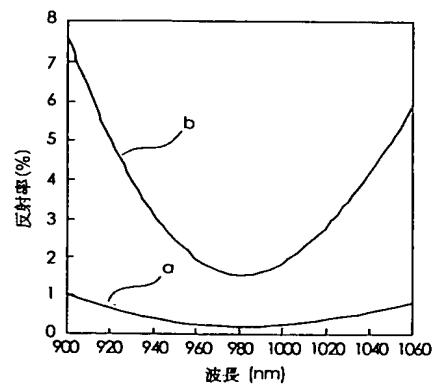
【図 1 8】



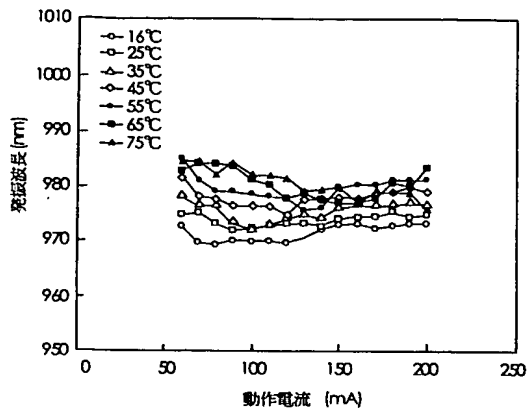
【図 1 7】



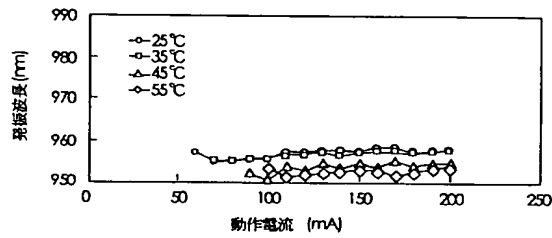
【図 1 9】



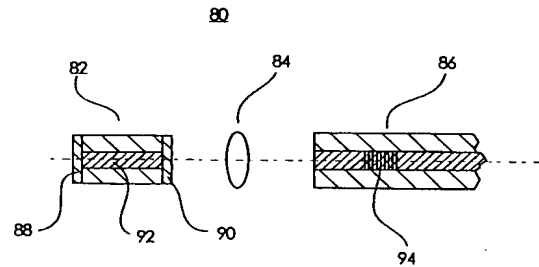
【図 20】



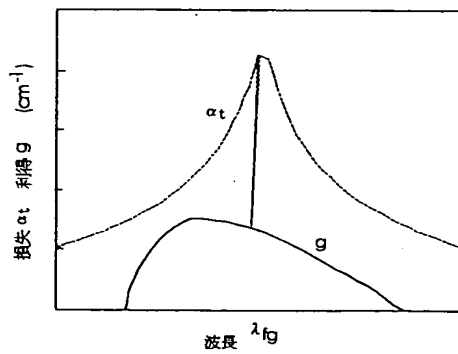
【図 21】



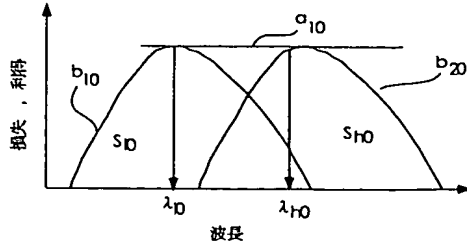
【図 24】



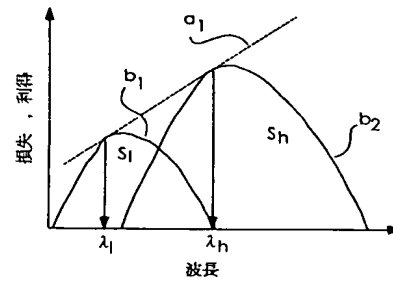
【図 25】



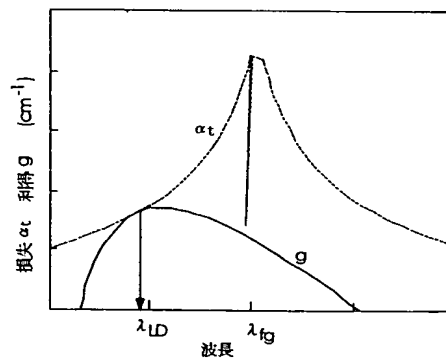
【図 22】



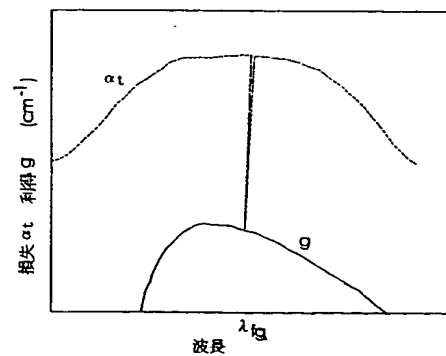
【図 23】



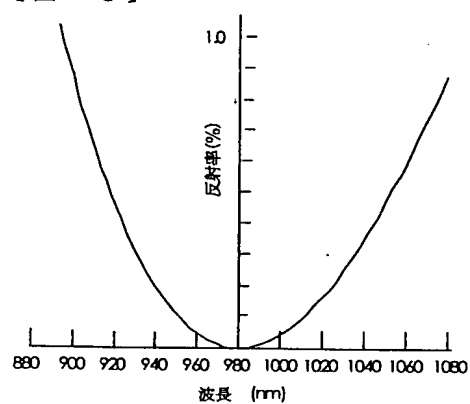
【図 26】



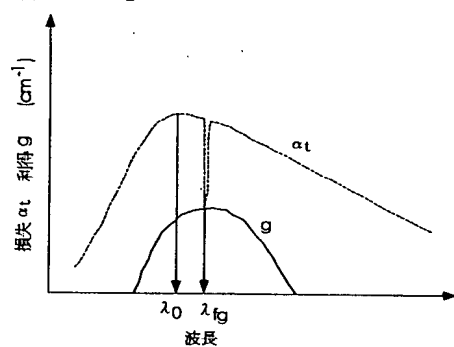
【図 27】



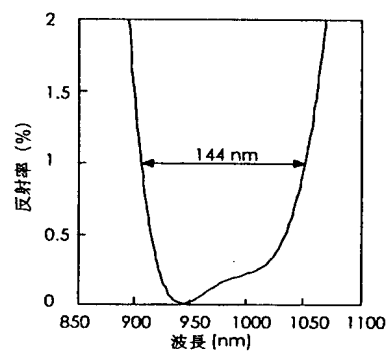
【図 28】



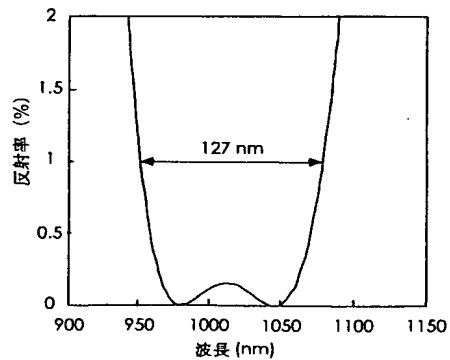
【図 29】



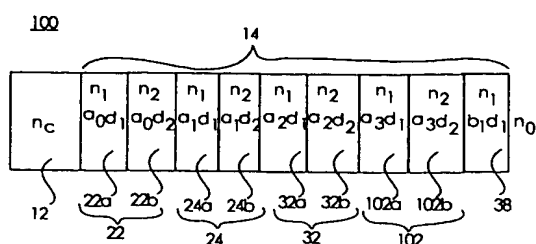
【図 32】



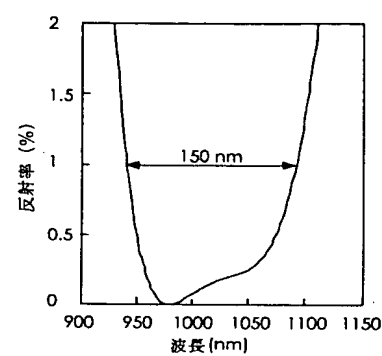
【図 33】



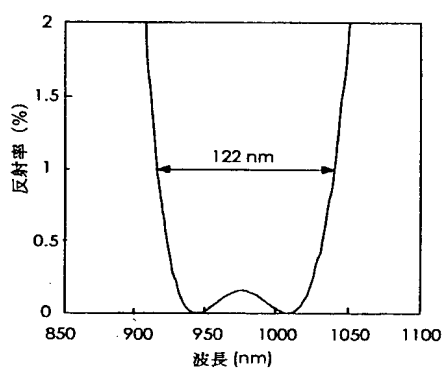
【図 30】



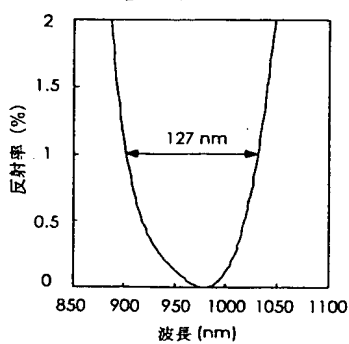
【図 31】



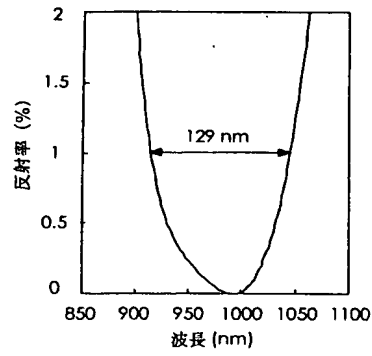
【図 34】



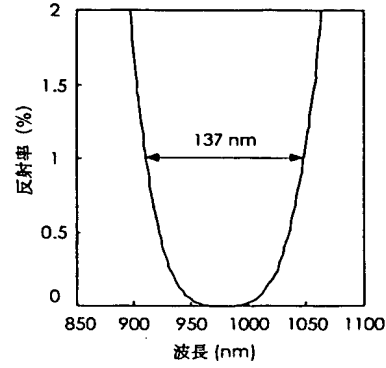
【図 35】



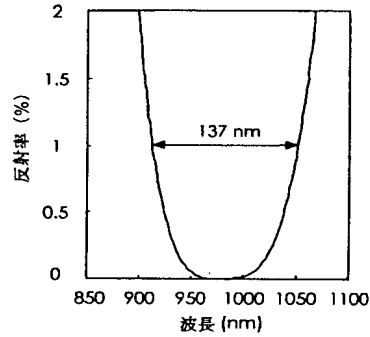
【図 3 6】



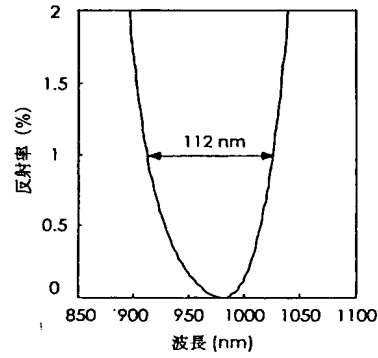
【図 3 8】



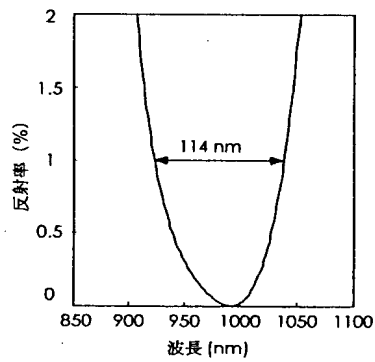
【図 3 7】



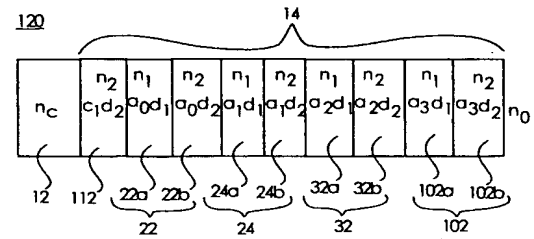
【図 3 9】



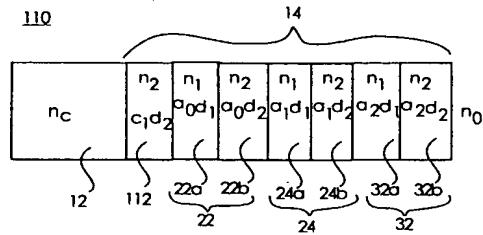
【図 4 0】



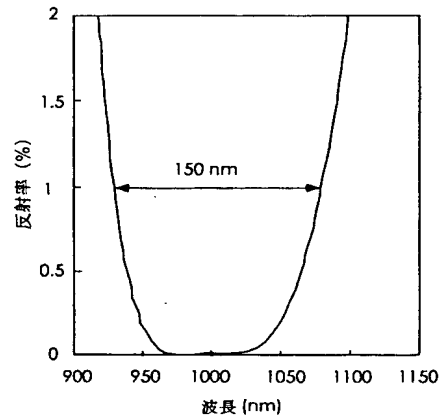
【図 4 2】



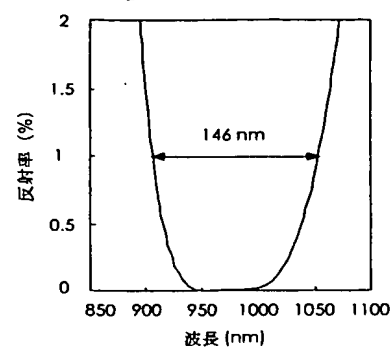
【図 4 1】



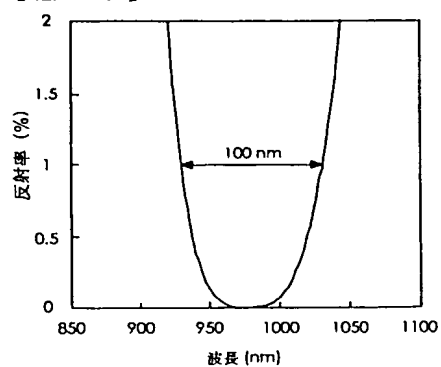
【図 4 3】



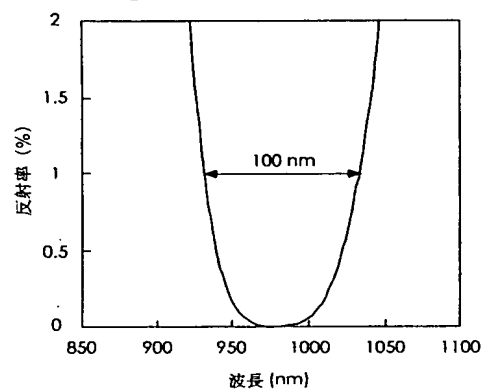
【図 4 4】



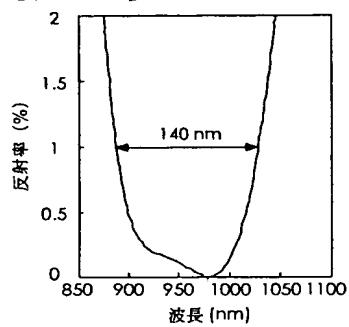
【図 4 6】



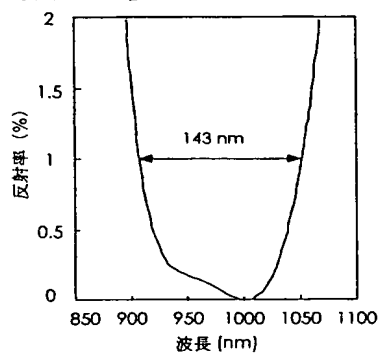
【図 4 5】



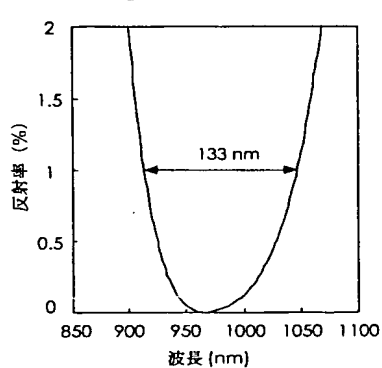
【図 4 7】



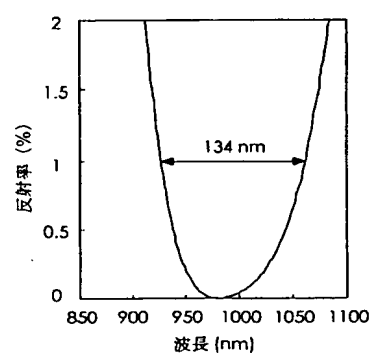
【図 4 8】



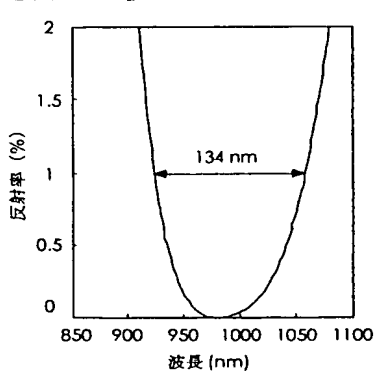
【図 5 0】



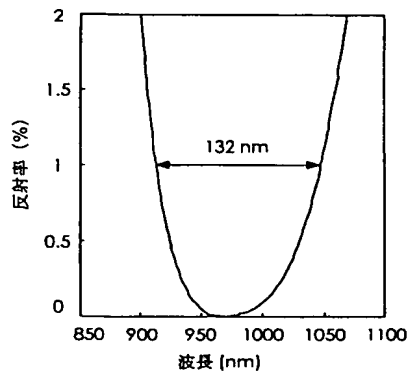
【図 4 9】



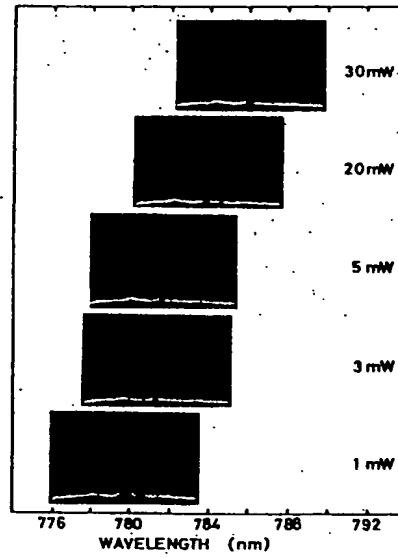
【図 5 1】



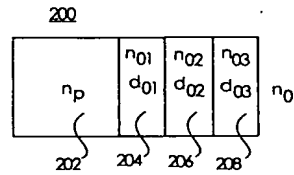
【図 5 2】



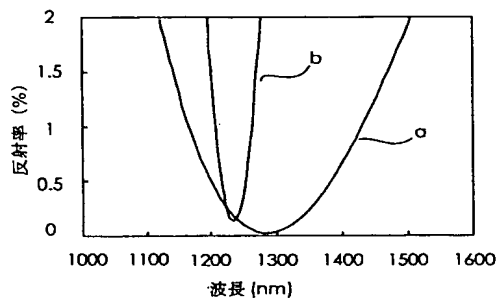
【図 5 3】



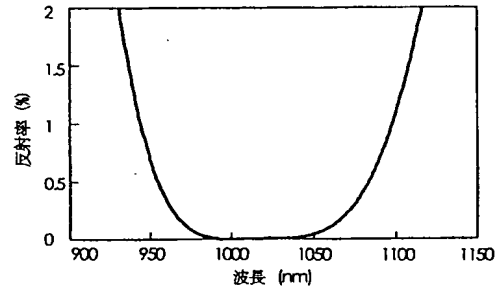
【図 5 4】



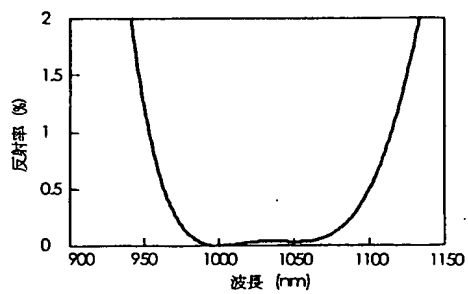
【図 5 5】



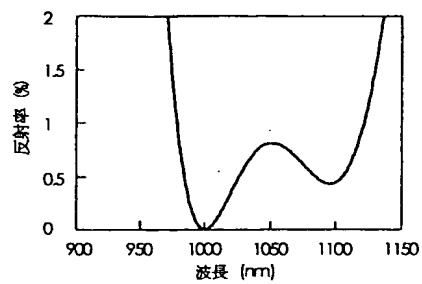
【図 5 7】



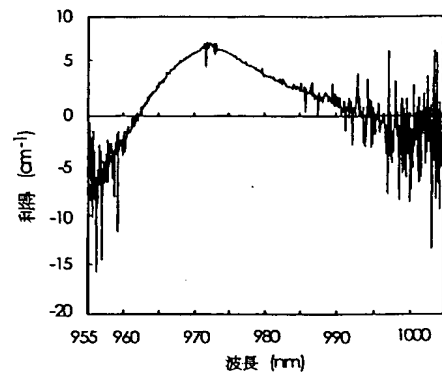
【図 5 6】



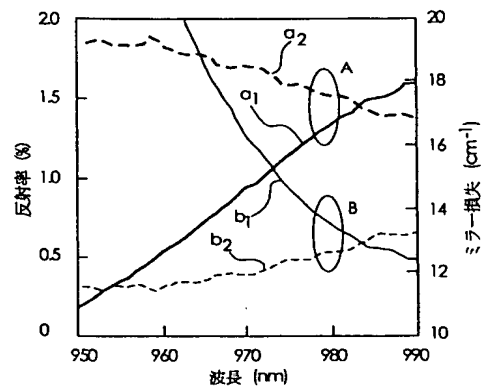
【図 5 8】



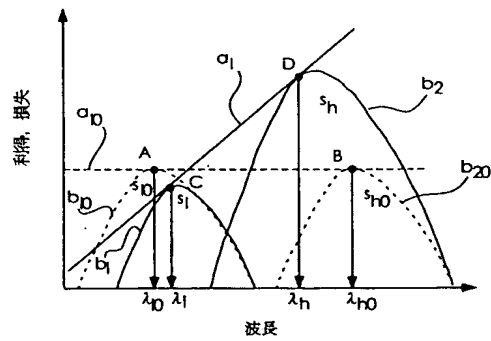
【図 59】



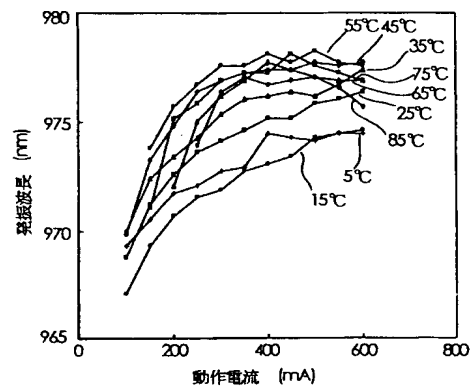
【図 61】



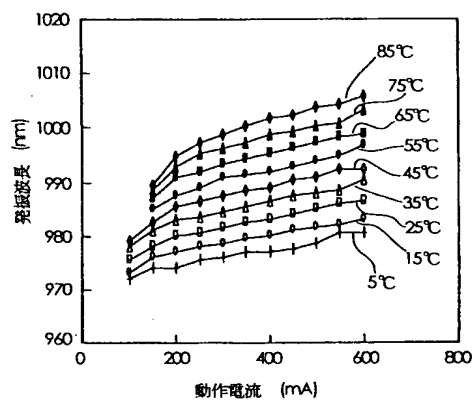
【図 60】



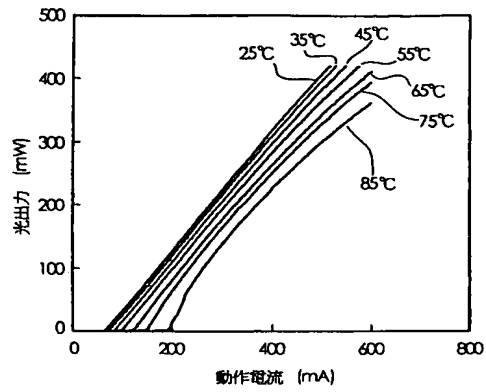
【図 62】



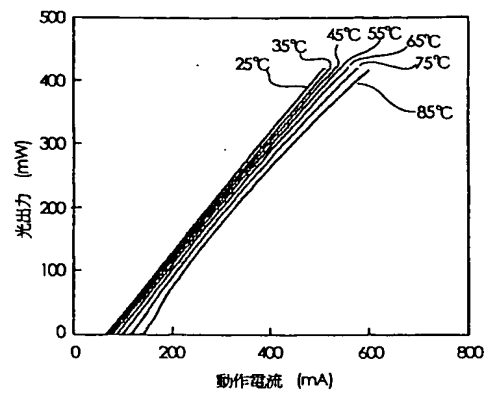
【図 63】



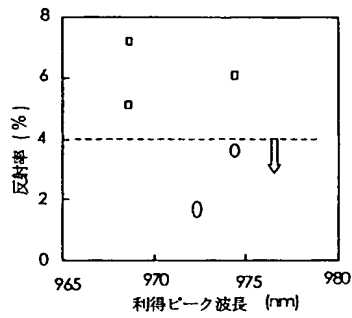
【図 6 4】



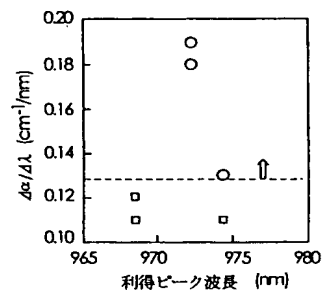
【図 6 5】



【図 6 6】



【図 6 7】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F073 AA13 AA45 AA47 AA67 AA73 AA83 AB27 AB28 BA02 BA03
BA08 CA07 CB02 CB20 EA03

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.